



“十三五”职业教育国家规划教材

城市轨道交通 信号与通信系统

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG
XINHAO YU TONGXIN XITONG



配套资源下载

主 编 章海亮 李 响

城市轨道交通信号与通信系统

主 编
章海亮
李 响

北京出版集团公司
北京出版社

北京出版集团公司
北 京 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市轨道交通信号与通信系统 / 章海亮, 李响主编.
— 北京: 北京出版社, 2017.1 (2021 重印)
ISBN 978-7-200-12595-5

I. ①城… II. ①章… ②李… III. ①城市轨道交通—交
通信号—信号系统—高等教育—教材 IV. ① U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 255541 号

城市轨道交通信号与通信系统

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG XINHAO YU TONGXIN XITONG

主 编: 章海亮 李 响
出 版: 北京出版集团公司
北 京 出 版 社
地 址: 北京北三环中路 6 号
邮 编: 100120
网 址: www.bph.com.cn
总发行: 北京出版集团公司
经 销: 新华书店
印 刷: 定州市新华印刷有限公司
版 次: 2017 年 1 月第 1 版 2021 年 1 月修订 2021 年 3 月第 4 次印刷
开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16
印 张: 22.5
字 数: 396 千字
书 号: ISBN 978-7-200-12595-5
定 价: 56.00 元

质量监督电话: 010-82685218 010-58572162 010-58572393

目 录

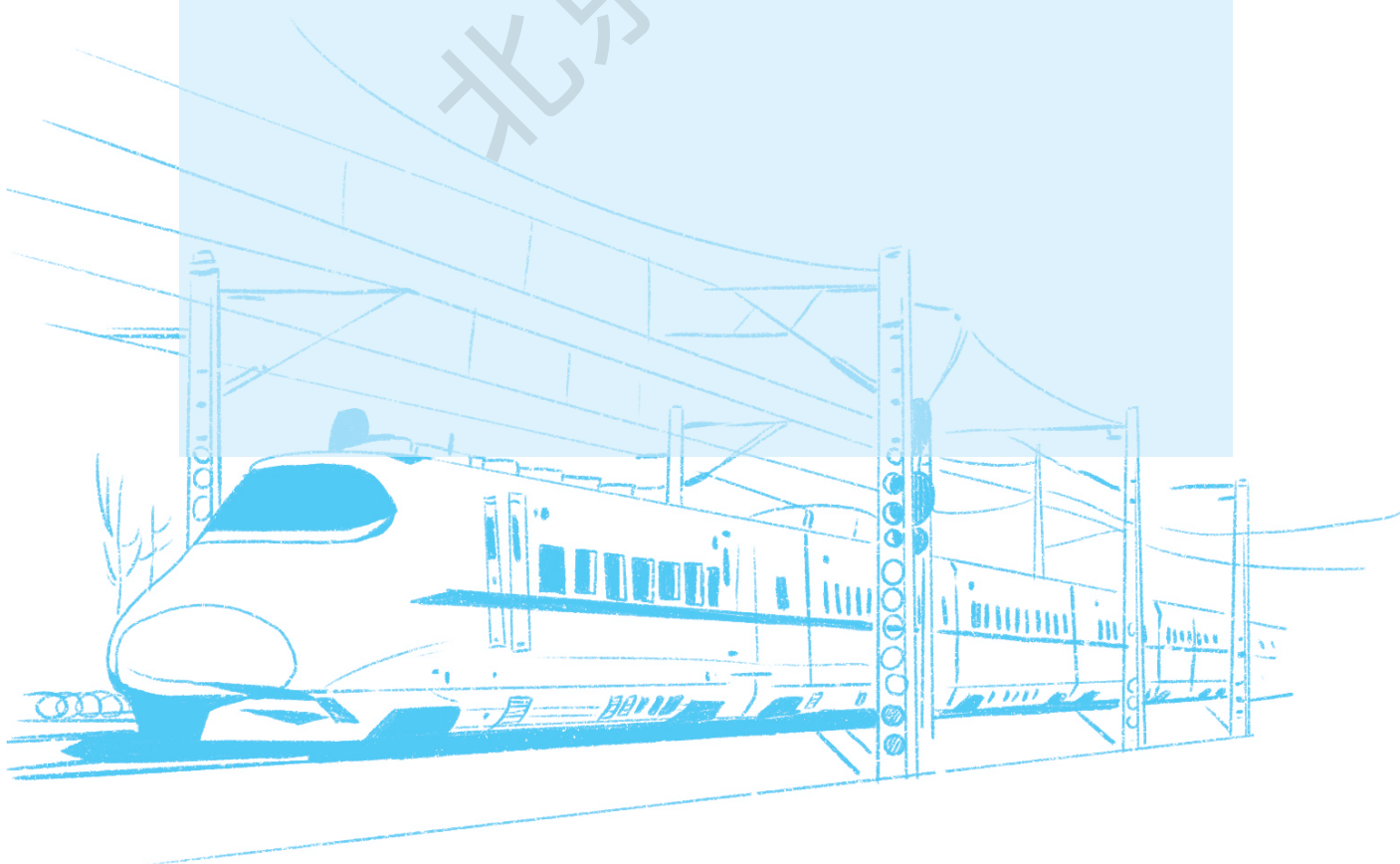
单元一 概述	1
任务 1 认识城市轨道交通信号系统	2
任务 2 认识城市轨道交通通信系统	10
单元二 信号系统基础设施	17
任务 1 学习轨旁信号设备	18
任务 2 学习车载及车站信号设备	39
单元三 联锁系统	45
任务 1 掌握联锁系统的控制方式	46
任务 2 正线联锁子系统的实例介绍	62
任务 3 车辆段联锁子系统的实例介绍	72
单元四 列车自动控制系统	82
任务 1 掌握 ATC 系统的组成、功能及其运行模式	83
任务 2 学习 ATP 子系统的组成、功能及其工作原理	94
任务 3 学习 ATO 子系统的组成、功能及其基本原理	109
任务 4 列车自动控制系统的实例介绍	120
单元五 列车自动监控子系统	134
任务 1 学习 ATS 子系统的组成	135
任务 2 学习 ATS 子系统的功能及其工作原理	143
任务 3 ATS 子系统的实例介绍	159
单元六 城市轨道交通通信系统	167
任务 1 掌握通信基础知识	168
任务 2 掌握通信传输系统	183
任务 3 学习通信传输媒质与接口设备	197
任务 4 学习通信传输技术	210

单元七 电话和无线调度系统	220
任务 1 掌握公务电话子系统	221
任务 2 掌握专用电话子系统	226
任务 3 学习无线通信	235
任务 4 认识无线集群调度系统	240
单元八 广播与闭路电视子系统	254
任务 1 学习广播子系统	255
任务 2 认识闭路电视子系统	266
单元九 其他通信子系统	280
任务 1 掌握时钟子系统	281
任务 2 掌握乘客信息系统	288
任务 3 认识综合网络管理系统	294
单元十 基于通信的城市轨道交通信号系统实例	302
任务 1 西门子信号系统的实例介绍	303
任务 2 交控科技信号系统的实例介绍	310
附录 英文缩略对照表	329
参考答案	331
参考文献	353

单元二 信号系统基础设施

【单元概述】

本单元主要介绍城市轨道交通信号系统的几种基础设备，包括轨旁信号、车载信号、车站信号和电源等设备。不同于传统铁路的是，城市轨道交通对信号设备的要求极其严格，既要求轨旁信号设备、车载信号设备和车站信号设备的体积小、安全性高，也要求工作可靠且容易维护。城市轨道交通尤其是地下部分，隧道空间小、行车密度大、故障排除难度大，若发生事故会难以救援，损失将非常严重，这就对信号设备提出了更高的安全要求；由于城市轨道交通装有带电的接触网，维修不便，这就要求信号设备具有更高的可靠性，尽量做到平时不维修或少维修。



任务 1

学习轨旁信号设备

学习目标

1. 熟知信号机的作用，理解并能够应用转辙机与道岔控制电路的工作原理。
2. 掌握轨道电路的工作方式。
3. 掌握计轴器的工作原理。
4. 掌握应答器的原理和功能。

教学环境

可利用多媒体设备进行直观的理论教学，并利用图片和录制的视频进行初步认知教学，也可以到现场参观轨道电路、计轴器、继电器及继电电路、转辙机和地面控制电路，以及应答器设备或者其他模拟设备。

教学设施

教学用的 PPT、视频以及相关教学引导资料。

理论模块

城市轨道交通信号系统设备沿袭了传统铁路的制式，但由于其自身的特点，与传统铁路的信号系统设备有一定的区别，城市轨道交通轨旁信号设备与传统铁路的划分方式不完全相同。本任务将分别从信号机、转辙机、轨道电路、计轴器和应答器这几个部分介绍城市轨道交通轨旁信号设备，而传统铁路的轨旁信号设备不包括计轴器和应答器环线感应设备。



一、信号机

(一)城市轨道交通信号机的设置

1. 城市轨道交通的主体信号

城市轨道交通的 ATC 系统决定了列车运行必须以车载信号作为主体信号，地面信号只有在车载信号出现故障的情况下才起作用，而且城市轨道交通的正线区段中间站均为无岔站，只有在具有折返功能车站（中间折返站和终端折返站）的道岔区域，才能设置地面信号机。

城市轨道交通车站一般不设进、出站信号机，但在正向出站方向的站台侧，在列车停车位置前方的适当地点要设置发车指示器，其功能为指示列车停站时间结束。

城市轨道交通的有些线路在 ATC 系统没有完全开通的情况下，已经投入运营，所以，要根据运营需要而设置进、出站信号机，甚至设置区间通过信号机，有的线路只设出站信号机。当 ATC 系统开通以后，这些信号机就失去了作用，只能作为后备系统使用。在正式运用 ATC 系统的情况下，城市轨道交通有岔站的道岔区域仍需设有地面信号机。这些信号机在 ATC 系统的控制下，设置为自动信号，不需要人工参与信号控制；当然，在特殊条件下，也可以进行人工控制。

2. 城市轨道交通信号机设置的特点

- (1) 正线区间内不设通过信号机。
- (2) 正线无岔站不设地面信号机，有岔站设有道岔防护信号机。
- (3) 折返站的折返线出、入口都设置防护信号机。
- (4) 停车场的出入库线设置出、入库地面信号机，指挥列车的出、入库。
- (5) 停车场内，应根据调车作业的需要设置各种用途的调车信号机。

图 2-1 所示为城市轨道交通的一个中间折返站，且为有岔站。有道岔的地方就需要设置地面信号机进行防护，以确保行车安全。根据城市轨道交通地面信号机的布置原则，该折返站需要设置 6 架地面信号机。其中 X_1 信号机发出阻挡信号，阻挡列车驶出折返线的尽头。 X_5 信号机发出列车从折返线（存车线）驶入正线的防护信号，当 X_5 信号机开放，则允许列车从折返线（存车线）进入正线。 X_9 和 X_{11} 信号机发出列车从正线车站站台驶向折返线（存车线）的防护信号，一般情况下， X_{11} 信号机发出正向信号，而 X_9 信号机发出反向信号。 X_{11} 信号机不仅可以指示列车通过 3 号道岔反位进入折返线，也能指示列车经 3 号道岔定位出站，进入正线区间继续运行。因此，也可以说 X_{11} 是为防护 3 号道岔的信号机。 X_3 信号机用以防护 1 号道岔，指示列车经 1 号道岔定位进站。 X_7 信号机发出反向防护信号，指示列车经 3 号道岔定位进站。



信号机的设置



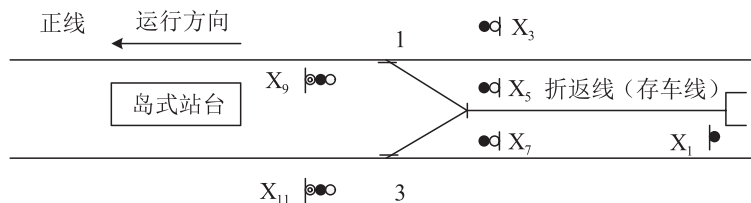


图 2-1 中间折返站信号机布置

(二) 信号机的显示

1. 信号机显示颜色的选择

城市轨道交通信号机显示颜色的选择，应达到显示明确、辨认容易、便于记忆和具有足够的显示距离等基本要求。经过理论分析和长期实践得出，信号的基本显示色为红、黄、绿三种，再辅以蓝色和月白色。其中红色穿透介质（如空气、水等）的能力最强，显示距离最远，而且它比其他颜色的光更能引人注意，所以规定红色灯光作为停车信号是最理想的。绿色和红色的反差最大，容易分辨，并且绿色灯光显示距离也较远，能满足信号显示的要求，故应采用绿色灯光作为按规定速度运行的信号。调车信号机不应该影响列车运行，所以应选用蓝色灯光作为调车禁止信号显示；调车信号机的允许信号采用月白色灯光。蓝色、月白色灯光虽显示距离较近，但因为调车速度较低，也可以满足调车作业的需要。

2. 灯光配列

色灯信号机的机构有单显示 [如图 2-2 (a) 所示]、二显示 [如图 2-2 (b) 所示]、三显示 [如图 2-2 (c) 所示] 等。单显示机构仅用于阻挡信号机，二显示和三显示机构可以单独使用，也可以组合（也可与单显示机构组合）构成各种信号显示。



图 2-2 城市轨道交通信号机图标

城市轨道交通正线信号机配列基本上是二显示和三显示信号机。在信号机只防护一条进路的情况下，一般设置为二显示信号机；当信号机所防护的进路有两条及以上时，设置为三显示信号机。

单显示信号机设置于线路终端，作为阻挡信号机，它始终采用红色灯光显示。

二显示信号机显示红色时，指示列车必须在信号机前停车；而显示绿色（月白色）时，指示信号机内方的道岔处于定位（反位）状态，允许列车进入信号所防护的进路。

三显示信号机显示红色时，指示列车必须在信号机前停车；当信号机内方的道岔处于定位状态且允许列车进入防护进路时，信号机显示为绿色；而当信号机内方的道岔处于反位状态且允许列车进入防护进路时，信号机显示为月白色。



城市轨道交通有岔站的进站方向信号机，允许开放引导信号，信号机显示红色加月白色。正线区域且当列车进入信号机内侧时，信号机的允许显示颜色必须立即变成红色。

停车场的调车信号机显示蓝色时，指示列车不得越过信号机；而显示月白色时，允许列车越过信号机所防护的进路。对于调车信号机，只有在列车的尾部全部进入信号机内部以后，才会变成蓝色。

二、转辙机与道岔控制电路

道岔的转换与锁闭装置直接关系着轨道交通的行车安全和行车效率。道岔的操纵有单独和进路两种操纵方式。单独操纵是行车作业人员通过按压按钮或点击鼠标的方式，根据需要选择道岔位置的作业，此作业方式一般多在道岔设备检修时采用。进路操纵是行车人员或中央控制人员通过排列进路方式，由控制电路或联锁软件根据所选择的进路自动选择道岔位置作业，此作业方式多用于日常的行车组织，可同时控制多组道岔，大大提高了行车效率。



转辙机的分类

（一）道岔

道岔是列车从一个轨道转向另一个轨道的转辙设备，它在轨道线路中最关键、最特殊，也是信号系统的主要控制对象之一。信号技术人员必须熟悉它的基本结构、作用和表示符号。

1. 道岔的组成

（1）机械结构

道岔实物如图 2-3 所示，它有两根可以移动的尖轨，尖轨的外侧是两根固定的基本轨，与尖轨和基本轨相连接的为四根合拢轨，其中两根合拢轨为直向的，另外两根合拢轨为弯向的（其曲线叫道岔导曲线），与两根内侧合拢轨相连的是辙叉，它由两根翼轨、一个岔心和两根护轮轨组成。护轮轨和翼轨用于固定车轮运行方向，如果不固定车轮轮缘的前进方向，就会造成脱轨事故。

目前，城市轨道交通线路正线一般都采用 9 号道岔，它所允许的侧向通过速度为 30 km/h。

（2）动力转辙机

动力转辙机是道岔控制系统中的执行机构，它的基本任务为转换道岔、锁闭道岔并反映道岔的位置状态。转辙机的传动机构将电动机的高速旋转变换成动作杆的低速直线运动，随后动作杆带动尖轨转换。转辙机按传动机构可分为液压传动机构和齿轮传动机构。

液压传动机构由电动机驱动一个油压泵，将加压的液体注入储能油罐中，使罐内空气压缩，储存一定的能量。在转换道岔时，使电动机工作，同时将控制油路的阀门打开，使受压油液注入油缸中，借助活塞与油缸的相对运动推动油缸，再由油缸带动



动作杆使尖轨转换。



图 2-3 道岔实物

齿轮传动机构，采用齿轮传动时必须使用摩擦连接器。其原因之一是当尖轨已转换完毕时，电机还不能立即停转，利用摩擦连接器可以克服电机的转动冲击；原因之二是当尖轨在转换过程中由于受阻而不能继续动作时，摩擦连接器进入摩擦状态，使电机能继续转动而不致烧毁。

当道岔的尖轨转换到规定的位置，并与基本轨保持密贴时，转辙机应能将尖轨机械锁闭在密贴状态，以保证在列车通过道岔时，尖轨不致因震动而离开基本轨。

(3) 道岔表示器

道岔表示器用于显示道岔开通的方向。

另外，还有设置于轨间的连接杆、尖端杆、密贴调整杆和表示杆等附件。

2. 道岔的位置和状态

如图 2-3 所示，道岔有两根可以移动的尖轨，一根尖轨离开基本轨，另一根密贴于基本轨。道岔有两个可以改变的位置，且同时可以改变两根尖轨的位置，使原来分离的变得密贴，原来密贴的变得分离。通常把道岔经常所处的位置叫作定位，临时根据需要而改变的另一位置叫作反位。为改变道岔的两个位置，在道岔尖轨处需要安装道岔转辙设备。

尖轨与基本轨密贴的程度对行车安全影响很大，如列车迎着尖轨运行时，如果尖轨密贴程度差，即间隙超过一定限度（大于 4 mm），则车辆的轮缘有可能碰撞或从间隙中挤进尖轨尖端，从而造成颠覆或脱轨的严重行车事故。

当高速列车通过道岔时，虽然道岔尖轨与基本轨密贴良好，但由于列车震动，仍有使道岔改变状态的可能性，为了防止此种危险的发生，在上述几种道岔转换设备中，都附有外锁闭装置，以便把道岔锁在密贴良好的规定状态。

3. 对向道岔和顺向道岔

道岔本身并无对向和顺向之分。根据列车运行方向，当列车迎着道岔尖轨运行时，

该道岔就叫对向道岔；反之，列车顺着道岔尖轨运行时，就叫顺向道岔。对向道岔和顺向道岔的不安全因素不一样，导致事故的后果也不同。

当列车迎着岔尖运行时，如果道岔位置扳错，则列车被接入另一条线路。如果这条线路已停有车辆，就会造成列车冲撞。另外，虽然道岔位置对，但其尖轨与基本轨不密贴（即状态不良）时，车轮轮缘有可能将密贴的一根尖轨挤开，造成“四开”，从而导致列车发生颠覆事故。当列车顺着岔尖运行（即从辙叉方面开来）时，与上述情况不同，这时道岔位置如果不对，车轮轮缘可以从尖轨与基本轨中间挤进去，并推动另一根尖轨靠近基本轨，发生的这种情况叫挤岔，挤岔时有可能使道岔和道岔转换器遭到损伤。但需要注意同一组道岔，根据经由它的列车运行方向的不同，有的是对向的，有的是顺向的。

为了保证行车安全，凡是列车经过的道岔，不论对向还是顺向，都要和信号机实现联锁。在电动的道岔转换器和锁闭器的结构上也要反映出道岔不密贴和挤岔等危险情况，一旦道岔不密贴或被挤压时，信号机就无法显示允许信号。

4. 单动道岔和双动道岔

按压一个道岔动作按钮（电动道岔的操纵元件），仅能使一组道岔转换，则称该道岔为单动道岔。如果能使两组道岔同时或顺序转换，则称该道岔为双动道岔，有时也称为联动道岔。还有三动或四动的情况，为了简化操作手续和联锁关系，同时还为了保证行车安全、节省信号器材等，凡是能双动的道岔必须设置为双动，即意味着两组道岔可作为一个控制对象来处理。

（二）动力转辙机的基本任务

转辙机是转辙装置的核心和主体，除转辙机本身外，还包括各类杆件及外锁闭装置和安装装置，由它们共同完成道岔的转换和锁闭作业。转辙机的设置情况如图 2-4 所示。



图 2-4 转辙机的设置

1. 转辙机的作用

转辙机的作用：根据需要将道岔尖轨的位置转换至定位或反位；道岔转至所需位置而且与尖轨密贴后，实现锁闭，防止外力转换道岔；正确地反映道岔的实际位置，当道岔的尖轨密贴于基本轨时，给出相应的表示，当道岔被挤或因故处于“四开”位置时，及时给出报警表示。

2. 对转辙机的基本要求

对转辙机的基本要求：作为转换装置，要具有足够大的拉力，以带动尖轨做直线往返运动；当尖轨受阻不能运动到底时，要随时通过操纵使尖轨恢复原位。作为锁闭装置，当尖轨和基本轨不密贴时，不应进行锁闭，一旦锁闭，应保证不致因车辆通过道岔时产生的震动而错误解锁。另外，作为监督装置，需要能正确地反映道岔的状态。道岔被挤后，在修复前不应再转换道岔。

（三）道岔的机械锁闭方式

道岔的机械锁闭是把尖轨或可动心轨等可动部分固定在某个开通位置上，当列车通过时，不因外力的作用而改变。

1. 内锁闭方式

内锁闭为当道岔由转辙机带动至某个特定位置时，在转辙机内部进行锁闭，并由转辙机动作杆经外部杆件对道岔实现位置固定。

内锁闭的特点：结构简单，便于日常维护保养且转换比较平稳，属于定力锁闭；道岔的两根尖轨由若干根连接杆组成框架结构，使尖轨部分的整体刚性较高，而且框式结构造成的反弹力和抗劲较大；由于两尖轨是由杆件连接的，当杆件受到外力冲击时，如发生弯曲变形，会使密贴尖轨与基本轨产生分离，严重威胁行车安全；当列车通过道岔产生冲击时，冲击力经过杆件将直接作用于转辙机内部，致使转辙机部件受损、挤切销折断、移位接触器跳开。因此，内锁闭式转换设备已不能适应提速的需要，必须采用分动外锁闭道岔转换设备。

2. 外锁闭方式

当道岔由转辙机带动转换至某个特定位置后，通过本身所依附的锁闭装置，直接把尖轨与基本轨，或心轨与翼轨密贴夹紧并固定，称为道岔的外锁闭。该方式道岔的锁闭主要是依靠外部的锁闭装置来实现的，而不是依靠转辙机内部的锁闭装置。由于外锁闭道岔的两根尖轨之间没有连接杆，因此在道岔转换过程中，两根尖轨是分别动作的，所以又称为分动外锁闭道岔。

分动外锁闭道岔转换设备的特点：改变了传统的框架式结构，使尖轨的整体刚性大幅度下降。尖轨分动后，转换器动力小，而且一根尖轨的变形不会影响另一根尖轨，由此产生的反弹、抗劲等转换阻力都减小许多。两根分动尖轨在外锁闭装置的作用下，不论是在启动解锁，还是在密贴锁闭过程中，所需的转换力都较小，避开了两根尖轨最大反弹力的叠加时刻。同时，承担两根尖轨弹性力的过程是在密贴解锁以后到斥离



尖轨锁闭以前这一较短的时间内,而此时正是电动机功率输出的最佳时刻,能使电气特性和机械特性得到良好的匹配。一旦外锁闭装置进入锁闭状态,车辆过岔时,车轮对尖轨和心轨产生的侧向冲击力基本上不会传到转辙机上,即具有隔力作用,有利于延长转辙机及各类转换部件的使用寿命。由于密贴尖轨与基本轨之间由外锁闭装置固定,因此克服了内锁闭道岔靠杆件的推力或拉力,使尖轨与基本轨密贴,不易造成 4 mm 失效这一较大的缺陷。

外锁闭道岔转换设备不仅消除了内锁闭方式的缺陷,也适应了列车提速的要求。所以,城市轨道交通都采用了外锁闭方式的电动转辙机。

(四) 道岔控制电路的构成原理

道岔控制电路分为道岔表示和道岔启动两部分电路。其中,道岔表示电路的作用为反映道岔的实际位置,道岔启动电路是指动作转辙机转换道岔的电路。

道岔表示电路不仅用于反映道岔位置,更重要的作用是适用于联锁。因此,道岔表示电路必须是安全电路,必须具备较完善的故障导向安全措施。对道岔表示电路的要求是:为了实现断线保护,只能用继电器的吸起状态与道岔的工作状态相对应,继电器的落下状态只能反映道岔在非工作状态下的情况。因此,对每组单动道岔或双动道岔将分别设置两个道岔表示继电器:一个为道岔定位表示继电器(DBJ),另一个为道岔反位表示继电器(FBJ)。当道岔在转换或发生挤岔事故、停电或断线故障时,必须保证 DBJ 和 FBJ 失磁落下。因此必须选用安全型继电器,而不能用电码继电器代替。

道岔启动电路指把道岔位置反映到信号楼内的电路,其要求是:道岔区段不空闲时,道岔不应转换(这种道岔锁闭也称为区段锁闭);进路在锁闭状态时,进路上的所有道岔都不应转换(这种道岔锁闭也称为进路锁闭)。当道岔启动电路已经动作时,如果有车驶入道岔区段,应能保证道岔继续转换到底。道岔启动电路动作后,转辙机的自动开闭器接触不良,或电动机的整流子和电刷接触不良,以致电动机电路断开时,应能使启动电路自动停止工作并复原,以保证道岔不会再转换。当道岔无法转换到底时,应能使道岔转回原位。另外,必须保证道岔不论在什么位置,都能随时用手动操作的方式使道岔转至反位或定位位置。道岔转换完毕后需能自动切断电机电路。

另外,城市轨道交通折返站设置了许多双动道岔,尤其是用于折返的交叉渡线均为双动道岔,渡线两端的道岔必须动作一致。虽然这两个道岔的动作条件是相同的,但其动作时机存在先后次序,一个道岔先操纵到所需位置后才能操纵另一个道岔。检查后一个道岔的动作电路时,必须考虑前一个动作道岔的自动开闭器接点位置与图纸上的位置是否一致。

三、轨道电路

轨道电路是城市轨道交通信号系统的重要基础设备,其性能直接影响着行车安全和运输效率。它广泛应用于列车检测和监督线路的占用情况,将列车运行与信号显示



等联系起来，是向列车传递行车信息的通道。

(一) 轨道电路的基本原理及作用

1. 轨道电路的基本原理

轨道电路是以运行线路的两根钢轨作为导体，两端加以机械绝缘（或电气绝缘），接上送电和受电设备而构成的电路，基本轨道电路如图 2-5 所示。轨道电路的送电设备设在送电端，由轨道电源、变压器及限流电阻等组成。限流电阻的作用是保护电源不因过负荷而损坏，同时保证列车占用轨道电路时，轨道继电器能够可靠地落下。接收设备设在受电端，一般采用轨道继电器来接收轨道电路的信号电流。

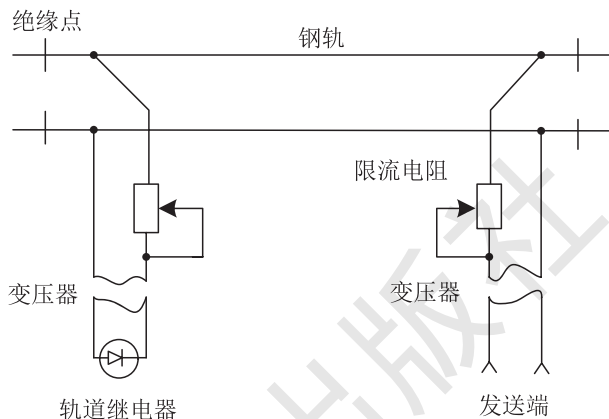


图 2-5 基本轨道电路

发送端的电源、逻辑控制单元、频率调制单元等都放置于车站内的信号设备室；送、受电端的变压器、限流电阻、调谐电容和电感等都放置于轨旁的变压器箱或电缆盒内；接收端的轨道继电器也放置在信号设备室内。送受电设备由引接线直接连接到钢轨，或通过电缆过轨后由引接线接向钢轨。

钢轨是轨道电路的导体，为了减小钢轨接头的接触电阻，增设了轨端接续线。绝缘节为分隔相邻轨道电路而装设。两绝缘节之间的钢轨线路的长度就是轨道电路的长度。当轨道电路内钢轨完整且没有列车占用时，轨道继电器吸起，表示轨道电路空闲，没有列车占用；当列车进入轨道区段时，轨道电路电流被列车轮对分路，由于轮对电阻远小于轨道继电器线圈电阻，流经轨道继电器的电流大大减小，导致轨道继电器落下，表示该轨道区段已被列车占用。

2. 轨道电路的作用

轨道电路的第一个作用是监督列车对轨道区段的占用，检测列车所占用的轨道区段。由轨道电路来检测该轨道区段是否空闲，为开放信号、建立进路、锁闭或解锁进路、构成闭塞提供依据，还可利用轨道电路的占用、自动关闭信号功能，把信号显示与列车运行结合起来。

轨道电路的第二个作用是传递行车信息。例如在铁路的自动闭塞区段，利用轨道



电路传递不同的频率信号来反映先行列车的位置，决定各个闭塞分区防护信号机的显示，为列车前行提供行车命令；又如城市轨道交通的 ATP 子系统中，利用轨道电路中传送的行车信息，为 ATC 系统提供控制列车运行所需要的先行列车的位置、运行前方信号机状态和线路条件等有关信息，以此来决定列车运行的目标速度，控制列车在当前运行速度下是否停车或减速。所以，轨道电路也是传递行车信息的通道。

（二）轨道电路的分类

轨道电路有较多种类，也有多种分类方法。

1. 根据轨道电路动作电源，可分为交流轨道电路和直流轨道电路。

现在城市轨道交通一般都采用交流轨道电路，一般交流轨道电路专指工频为 50 Hz 的轨道电路。25 Hz 和 75 Hz 的轨道电路也属于交流轨道电路，但必须注明电源频率，以示区别。交流轨道电路中有很多种类，频带用得很宽，大体可分为三段：低频为 300 Hz 以下；音频为 300~3 000 Hz；高频为 10~40 kHz。直流轨道电路是采用一次性或蓄电池作为电源的轨道电路，这种轨道电路的特点是电源可靠、电路和元件结构简单，但电源维护工作量大，抗迷流干扰的能力差，受轨道电路电容蓄电效应的影响较大。因此，它的应用较少。

2. 按工作方式，可分为开路式轨道电路和闭路式轨道电路。

开路式轨道电路平时呈开路状态，如图 2-6 所示，它的发送设备和接收设备安装在轨道电路的同一端。轨道电路无车占用时，不构成回路，轨道继电器落下；有车占用时，轨道电路通过车辆轮对构成回路，轨道继电器吸起。由于轨道继电器经常落下，不能监督轨道电路的完整性，遇有断轨或引接线、接续线折断等故障出现时，不能立即发现。当有车占用时，轨道继电器也不能吸起，列车此时处于不安全状态。因此，现在极少采用开路式轨道电路。

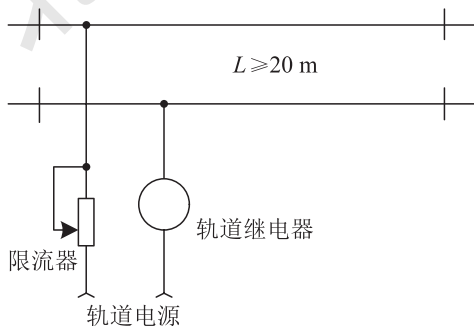


图 2-6 开路式轨道电路

大多数的轨道电路都采用闭路式轨道电路，以便于平时构成闭合回路，在图 2-5 中，其发送设备（电源）和接收设备（轨道继电器）分别设置于轨道电路的两端。轨道电路上没有车占用时，轨道继电器吸起；有车占用时，因车辆轮对分路轨道电路，使轨道继电器落下。若发生断轨、断线等故障，则轨道继电器也会落下，能保证



安全。

3. 按所传送的电流特性,可分为脉冲式、连续式、交流计数电码式、移频式和数字编码式。

脉冲式轨道电路是一种传送断续电流脉冲的轨道电路。其送电端为发码器,发送脉冲电流至钢轨,受电端通过译码器译码,使轨道继电器工作。我国曾采用的不对称脉冲轨道电路和极性频率脉冲(简称极频)轨道电路就属于此类。其中,前者只有一种频率的脉冲,只能当一般的轨道电路使用;后者有四种脉冲编码,除监督轨道空闲与否外,还能传送行车信息。

连续式轨道电路传送的是连续的交流电流,它只能监督轨道是否被占用,不能传送更多信息。

交流计数电码式轨道电路传送的是断续的电流,即由不同长度的脉冲和间隔组合成电码,电码由发码器产生,同时只能发一种电码。传到受电端后,再由译码电路译出,使轨道继电器动作。我国铁路的交流计数电码(包括 25 Hz、50 Hz 和 75 Hz)轨道电路就属于此类,它也可传送行车信息。

移频式轨道电路在钢轨中传送的是移频电流,在发送端用低频(8~26 Hz)作为行车信息,对载频(495~905 Hz)进行调制,使移频频率随低频频率做周期性变化。在接收端将低频频率解调出来,以使相应的轨道继电器动作。移频式轨道电路可传送多种信息的信号。

数字编码式轨道电路多数采用调频方式,但它采用的不是单一的低频调制频率,而是一个若干比特的一组调制频率。根据编码去调制载频,编码数据中包含列车运行的目标速度码、线路坡度码、闭塞分区长度码及纠错码等,从而可以传输更多的信息。

城市轨道交通普遍采用数字编码式轨道电路,向列车传送的是“进路地图”信息,实际上是拓扑结构的矢量值。这种轨道电路传送的数据信息量大,所以其载频频率高,传送速率也较高。这种基于“进路地图”的轨道电路,为移动闭塞奠定了基础。

4. 按轨道区段的分割方式,可分为有绝缘轨道电路和无绝缘轨道电路。

有绝缘轨道电路在轨道电路的两端设有“绝缘节”,它可以将本轨道电路与相邻轨道电路互相隔离。城市轨道交通的道岔区段以及停车场的轨道电路,一般为有绝缘轨道电路。在车辆运行的冲击力和剪切力作用下,绝缘节的绝缘材料容易导致轨道电路出现故障,而且绝缘节的安装给无缝线路带来了麻烦,有时需要通过锯轨来降低线路的轨道强度,这增加了线路维护的复杂性。电力牵引区段都是利用两根钢轨作为牵引电流的回流通道的,所以在钢轨处设置绝缘节,影响了牵引回流的通路,为此,在交流电力牵引区段的绝缘节处,必须安装扼流变压器。

无绝缘轨道电路在轨道区段分界处不设绝缘节,而采用不同的方法对轨道电路进行电气隔离。无缝线路和电化区段都希望采用无绝缘轨道电路。它的电气隔离方式按

原理分为三种：自然衰耗式、电气隔离式、强制衰耗式。其中，电气隔离式又称谐振式，采用不同的信号频率，谐振回路对不同频率呈现出不同阻抗来实现相邻轨道电路间的电气隔离。城市轨道交通轨道电路都是无绝缘轨道电路，其轨道电路的传输频率较高，轨道电路的长度较短，电气绝缘一般采用“S”形导线（简称 S-Bond）的短路线。但是，有岔站的道岔区段基本上都采用有绝缘轨道电路。

5. 按设置地点，可分为区间轨道电路和站内轨道电路。

区间轨道电路主要用于区间自动闭塞区段，它不仅监督各闭塞分区是否空闲，而且还要传输有关行车信息。一般来说，区间轨道电路传输距离较长，轨道电路的构成也比较复杂。

站内轨道电路则用于站内轨道区段，传统铁路的站内轨道电路一般只有监督本轨道区段是否空闲的功能，没有发送其他信息的功能。城市轨道交通车站一般都是无岔站，站台区域的轨道电路也是正线轨道电路，所以这种车站的站内轨道电路与区间轨道电路完全一致；有岔站的正线区段轨道电路除与区间轨道电路相同外，分支区段的轨道电路一般采用 50 Hz（或 25 Hz、75 Hz）的相敏轨道电路，用于检测列车，而在道岔分支的轨道区段设置环线，以向列车传送行车信息。

道岔区段钢轨和杆件要增加绝缘，还要增加道岔连接线和跳线。当分支超过一定长度时，还必须设多个受电端。

6. 按列车牵引方式，可分为非电化区段轨道电路和电化区段轨道电路。

非电化区段轨道电路没有抗干扰的特殊要求，而电化区段轨道电路，既要抗电化干扰，又要保证牵引回流的畅通无阻。牵引回流同时流过两根钢轨的称为双轨条轨道电路；仅流过一根钢轨的称为单轨条轨道电路。单轨条轨道电路是以一根钢轨作为牵引电流回线，在绝缘处用抗流线引向相邻轨道电路钢轨的一种轨道电路。因其牵引电流只流经一根钢轨，所以两根钢轨间会产生较大的电位差，从而成为信号轨道电路的干扰源。牵引电流越大，钢轨阻抗越大，对信号电路造成的干扰也越大。但单轨条轨道电路的建设成本低，构造简单，所以城市轨道交通停车场的轨道电路一般都采用单轨条轨道电路。

双轨条轨道电路是为了解决单轨条轨道电路中两根钢轨的牵引电流不平衡导致的对信号轨道电路的干扰而设计的。双轨条轨道电路牵引电流沿着两根钢轨流通，在钢轨绝缘处为导通牵引电流而设置了扼流变压器，信号设备通过扼流变压器接向轨道。在正常情况下，两根钢轨中流经的牵引电流相同，所以牵引电流的信号轨道电路干扰相对减少。但这种方式的轨道电路设备多，投资大。

城市轨道交通的轨道电路基本布置如图 2-7 所示，新型轨道电路采用直流牵引供电且为无缝线路，所以不能用扼流变压器来分割轨道电路，一般采用 S-Bond 作为轨道电路的电气绝缘。轨道电流有两种方式经 S-Bond 在钢轨内传输，图 2-8（a）所示为感应式，轨道电流由绕行在环线内侧的电缆感应至 S-Bond 上，再送至钢轨；图 2-8（b）

所示为注入式，轨道电流直接经过与 S-Bond 相连的电缆注入钢轨。



图 2-7 城市轨道交通轨道电路的基本布置

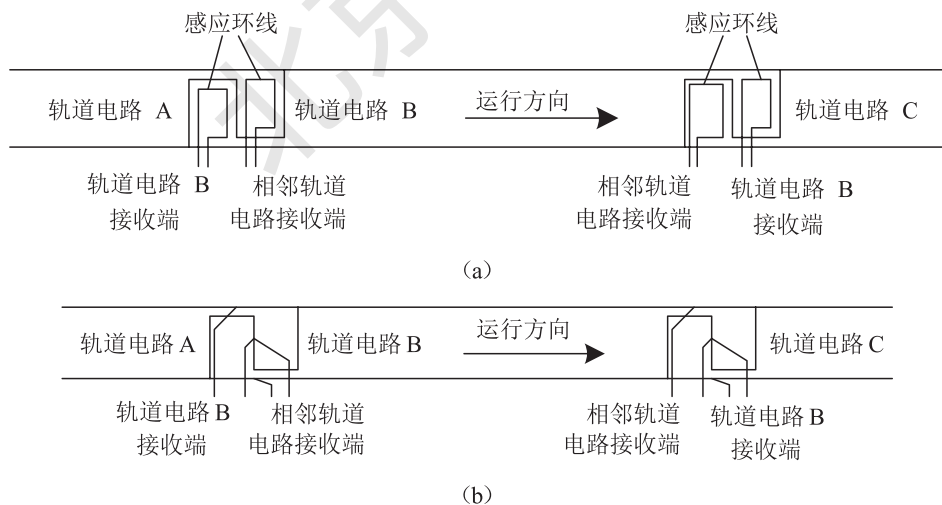


图 2-8 城市轨道交通 S-Bond 轨道电路

城市轨道交通正线轨道电路，不仅用于检测列车的占用，更重要的是向列车传送数据信息。因此，轨道电路的发送端必须设置于列车运行的出口处，而接收端应设置于列车运行的入口处。这意味着当列车运行方向改变时，每段轨道电路的发送端、接



收端都应根据列车的运行方向而改变,这对于双向运行的线路尤为重要。城市轨道交通列车通常固定在上、下行线路运行。当发生故障时,为了确保牵引电流的回流畅通和流经两根钢轨的牵引电流平衡,应在回流点的 S-Bond 的中间设置回流线。

四、计轴器

计轴器是一种用来替代轨道电路的列车占用检测设备,其功能与轨道电路相似,但无法给出列车具体位置。计轴器与联锁设备相连接,则可以为进路编排提供基础信息。一般情况下,计轴器是移动闭塞后备模式下的主要设备。城市轨道交通正线区间内一般不设置计轴器,但为了提高行车效率,可以在区间设置信号机,以缩短行车间隔。在这种情况下,设置有信号机的位置,必须设置计轴器。另外,在正线无岔站,一般将计轴器设置于站台的出口处;而有岔站的道岔区域中每一条进路的两端,都必须设置计轴器。

(一) 计轴器的组成

计轴器主要由传感器和计数比较器组成。当车辆轴数的信息需要远距离传输时,计轴器还需采用传输设备。

1. 传感器

传感器是计轴器的基础设备,其作用是将列车通过的车轴数转换成电脉冲信号。早期使用的传感器一般是机械式,目前一般采用电磁式。电磁式传感器由磁头、发送器和接收器三部分组成。发送器向磁头的发送线圈馈送较高频率的电流,使其周围产生交变磁场,并通过空气、钢轨、扣件等不同介质改变环链到磁头的接收线圈,感应出交流电压。车轴通过磁头时,车轮的屏蔽作用和轮缘的扩散作用使环链到磁头之间的接收线圈的磁通量发生变化,并使感应电压显著降低。接收器将这个变化的感应电压转换成车轴电脉冲信号。



计轴器

2. 计数比较器

计数比较器主要由计数器、鉴别器及比较器组成。它将进出两个计轴点之间的车轴电脉冲信号进行计数和比较,以判断区间(或轨道区段)是否空闲。

3. 传输设备

传输设备主要由电信号发送器和电信号接收器组成。多采用频率数码传输方式。

(二) 计轴器工作的原理

1. 计轴器的基本工作方式

如图 2-9 所示,在检测轨道区段的入口处和出口处分别设置计轴器,每个点的传感器配有两套磁头,每套分别设置发送磁头和接收磁头。当列车驶入该轨道区段,列车车轮抵达计轴器 A 的作业区域时,计轴器 A 将车轴脉冲经电子连接箱传送给室内计算机主机系统,由主机系统计算车轴数量,并根据两套磁头的作业时机,判别列车的运行方向;同理,当列车车轮抵达计轴器 B 的作业区域时,计轴器 B 将车轴脉冲经电



子连接箱传送给室内计算机主机系统，由主机系统决定对轴数是累加计数还是递减计数。依据该轨道区段驶入点和驶出点所记录轴数的比较结果，确定该区段的占用（输入轴数大于输出轴数）或空闲状态（输入轴数等于输出轴数）。

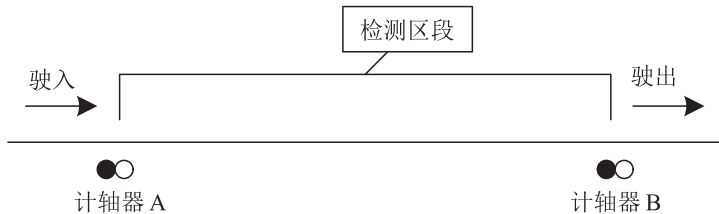


图 2-9 计轴器基本工作方式原理

当列车驶入轨道区段时，计轴器 A 的计数结果为 N （列车轴数），此时计轴器 B 计数为零，随后根据轴数信息主机系统发出的区段占用信息，控制该区段的轨道继电器落下；当列车驶离该轨道区段时，计轴器 B 的计数成为 N ，经主机系统比较，与计轴器 A 的计数结果一致，确认区段空闲，输出控制信息使该区段的轨道继电器吸起。根据列车占用轨道区段的状态，构成车站联锁和区间闭塞的关系。

2. 计轴器的工作原理

计轴器实际上是利用线圈互感原理制成的一种电磁式有源传感器，当列车车轮通过计测点时，根据发生的磁通量变化，得到轮轴信号。传感器的每组磁头包括发送（T）和接收（R）两个磁头，发送磁头安装在钢轨外侧，接收磁头安装在钢轨内侧。

如图 2-10 所示，每个检测点的计轴器由两组磁头构成。当车轮经过时，两组磁头产生轴脉冲的时间顺序不同，通过此时间差可以判定列车的运行方向。根据两组脉冲的组合时序可确定列车的运行方向，从而进行相应的加轴或减轴。

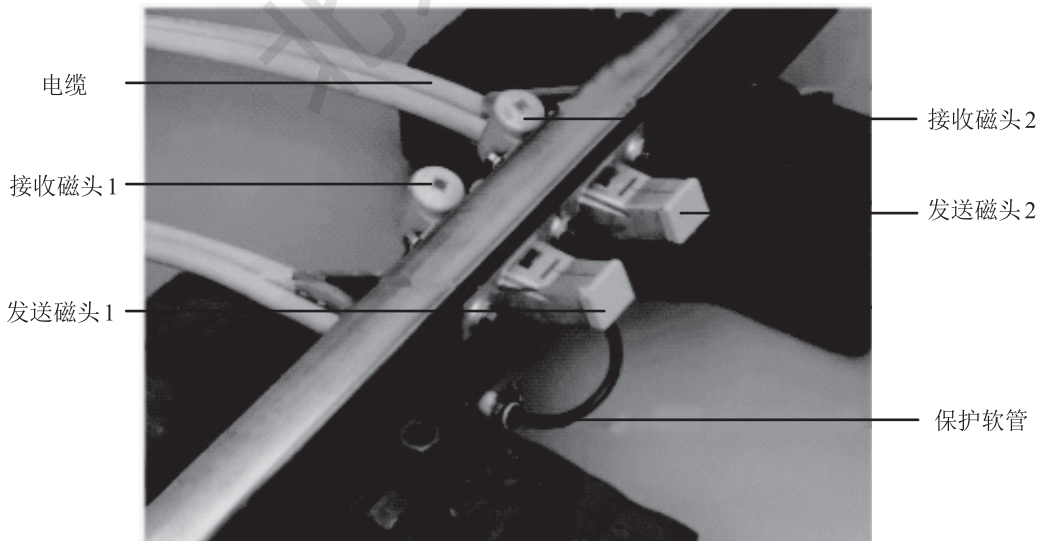


图 2-10 计轴器磁头的组成

图 2-11 为列车从不同运行方向经过该计轴器（磁头）时，每组磁头所产生的脉冲



图。当列车经过一组磁头辐射范围时，该组磁头应产生一个“1”脉冲，当没有列车经过磁头辐射范围时，为“0”脉冲。根据这个原理，结合图可知，当列车由运行方向 a 经过计轴器时 [见图 2-11 (a)]，车轮应先经过传感器磁头 T_1 和 R_1 ，由 R_1 产生一组脉冲串 (01100)，然后经过传感器磁头 T_2 和 R_2 ，由 R_2 产生一组脉冲串 (00110)，这两组脉冲组合成具有五种形态的脉冲对，即 (00, 10, 11, 01, 00)。

若列车从运行方向 b 经过计轴器 [见图 2-11 (b)]，车轮应先经过传感器磁头 T_2 和 R_2 ，由 R_2 产生一组脉冲串 (01100)，然后经过传感器磁头 T_1 和 R_1 ，由 R_1 产生一组脉冲串 (00110)，这两组脉冲组合成具有五种形态的脉冲对，即 (00, 01, 11, 10, 00)。

由此可见，列车按照不同运行方向经过计轴器，可产生不同的脉冲对序列。计轴运算单元可根据接收到的不同脉冲对序列，判断列车的运行方向。

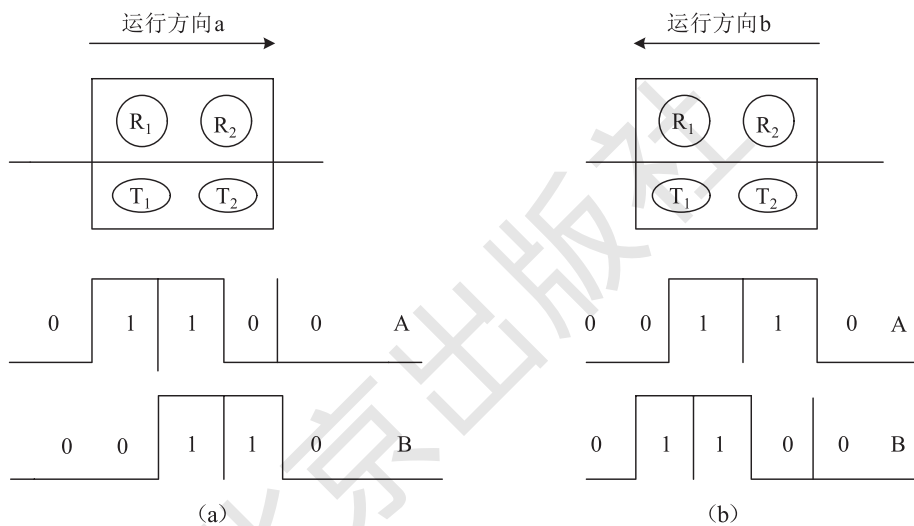


图 2-11 轴脉冲的形成

注： T_1 —发送磁头 1； T_2 —发送磁头 2；A— R_1 产生的轴脉冲；
 R_1 —接收磁头 1； R_2 —接收磁头 2；B— R_2 产生的轴脉冲

五、应答器 (信标)

在城市轨道交通 ATC 系统中，应答器的应用很普遍，它最早出现在上海轨道交通 1 号线，这种应答器实现了列车在车站的程序定位停车控制，随后在“距离定位”的 ATC 系统中，轨间采用了大量的定位应答器。近年来，我国其他城市轨道交通系统为了检测列车在线路上的精确位置，也采用了大量的应答器。



应答器

应答器是一种可以发送数据报文的高速数据传输设备，分为有源应答器和无源应答器两种，可实现地对车的数据传输。地面无源应答器具有列车运行固定信息；有源应答器与地面电子单元相连接时，能提供实时可变的信息。地面电子单元是一种数据采集与处理单元，当有数据变化时，将变化后的数据形成报文，送给应答器，传送给列车。



应答器可以单个设置，也可以按编组形式设置，组内每个应答器均发送一组报文，所有报文组合定义了该应答器组的信息含义。例如，在 CBTC（基于通信的列车控制）系统中，在线路入口处设置两个距离固定的应答器，它们构成一组“初始化”应答器，不仅识别列车的运行方向和所在位置，而且可以计算“轮径”补偿值，校正距离定位的误差。

（一）应答器的工作原理

应答器是一种基于电磁耦合原理构成的高速点式数据传输设备，它利用无线感应的原理，在特定地点实现车 - 地的双向通信。所以，为了完成上述功能，应答器必须和车载设备配合使用。

1. 无源应答器

如图 2-12 所示，无源应答器作为一个电磁设备，它没有外接电源供电，平时处于静止休眠状态。当列车经过无源应答器上方时，应答器接收到车载天线传递的载频能量，获得电能后使应答器中的信号发生器工作，然后将事先存储在应答器中的数据发送出去。这些信息包含公里标、线路坡度及限速等各种数据信息。列车接收到这些信息，通过车载控制系统得出最佳的运行速度，以保证行车安全。列车也可以根据接收到的信息确定列车在线路上的精确位置。

当安装在列车底部的应答器天线与应答器之间的磁场达到了规定的范围时（有效作用范围 $\geq 0.5\text{ m}$ ），应答器的感应线圈能感应到列车发出的功率载波（功率载频为 $27.095\text{ MHz} \pm 5\text{ kHz}$ ），随后通过变换器、检波和电压调节，输出直流电压，使应答器进入工作状态，系统时钟得到工作电压，并提供给信源编码器和调制电路。编码器读取预置在系统芯片中的信息，给出调制器编码条件，调制器对信息调制后可得到频移键控信号（Frequency Shift Keying, FSK），此信号再经过低通滤波器处理后放大，由线圈发送出去。

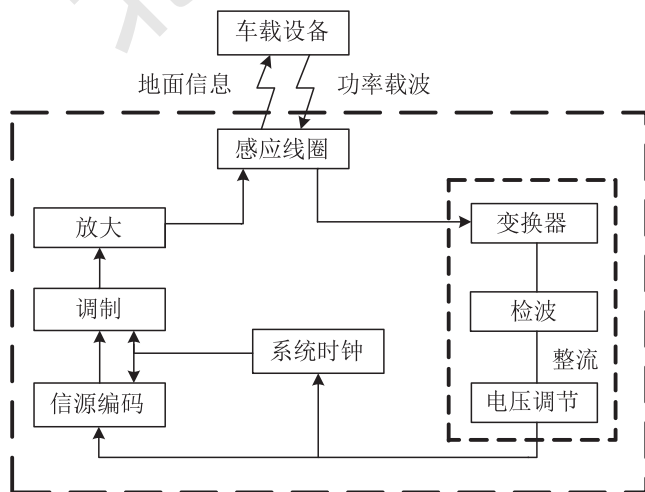


图 2-12 无源应答器的工作原理



2. 有源应答器

有源应答器需要外接电源供电。有源应答器由可变信息应答器、车站信息编码设备、轨旁电子单元和连接电缆组成。有源应答器接有车站信息编码设备，因此，有源应答器内的数据报文可随外部控制条件产生变化，例如，设置于地面信号机旁的应答器，它将信号机的显示状态的数据信息通过应答器传送给列车。数据信息对应信号机的不同显示是可变的。有源应答器在城市轨道交通点式 ATP 子系统中得到了广泛应用，在 CBTC 的后备系统中也被普遍采用。当列车与应答器的距离在一定范围内时，应答器内的数据应该保持不变。但当列车远离应答器时，数据能随时变化。车站的信息编码设备和车站联锁系统结合，采集联锁系统的有关信息，如信号机的显示、道岔的位置、临时限速等。这些信息经过编码设备编码后，通过串行接口传送至轨旁电子单元，再通过它控制地面有源应答器的发送，为列车提供实时的信息，如图 2-13 所示。

应答器作为保证行车安全的信号设备，应符合安全标准。早在 1996 年欧洲铁路联盟就对应答器做出了相应的规定。我国城市轨道交通使用的应答器大部分都是根据欧洲标准，并结合我国轨道交通的特点进行设计的。我国城市轨道交通的应答器设计时应遵循以下设计指标：首先要设计符合我国轨道交通运行状况的应答器；具有抗电化干扰的能力，并且不对其他设备产生干扰；应采用模块化结构、统一接口、标准协议，能与其他信号系统结合或进行数据交换；系统的信息编码应符合国际标准；易于安装、调试，采用高可靠性设计，防机械冲击和振动，可满足封装密封、元器件防震、耐高温及防潮等环境要求。

无源应答器比有源应答器的设计要复杂，而且无源应答器只需去除感应电路改由外部供电，也可以作为有源应答器使用。

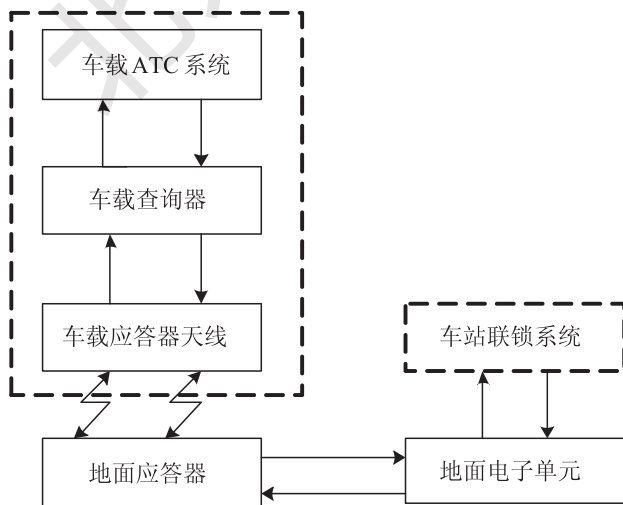


图 2-13 应答器系统的运作



(二) 应答器的主要功能

1. 无源应答器接收车载天线传递的载频能量

无源应答器是一种信息编码调制器，其工作电能来自于列车发出的功率载波，应答器与车载天线之间的通信属于无线传输，无线电波在空气中损耗很大。如果应答器的功耗过大，需要对列车发出的功率载波提出很高的要求，但同时会带来散热和电磁兼容等方面的问题。因此应答器功耗的控制成为设计的一个关键问题。降低系统功耗的主要办法就是降低系统的工作电压。因此，在设计应答器电路时，必须要使用低功耗的器件，并配合合理的电路设计。应答器内部必须要有整流装置，把列车提供的功率载波变为直流电压，使时钟、信源编码器、调制器和放大器等有源器件工作，进而将存储在芯片内的数据，以高速数字通信的方式送出。

2. 通过车载天线向列车发送数据信息

当车载应答器天线与应答器在有效作用范围内时，应答器需发送连续的数据信息，这实际上是一个无缝的报文信息流，由同步码、有效信息以及校验码等组成。报文的长度根据运用的区段进行定义。

(三) 应答器的设置和分类

应答器是放置在两根钢轨中间的设备，作为地面信号设备的重要组成部分，图 2-14 中为应答器及其在轨道中的应用。考虑到行车安全和行车效率，应答器的布置应满足数据的完整性和数据的冗余覆盖。在 CBTC 系统的后备模式中，增加了一些应答器，其设置的位置及功能不同于 CBTC 系统，可分为进路应答器和信号应答器。

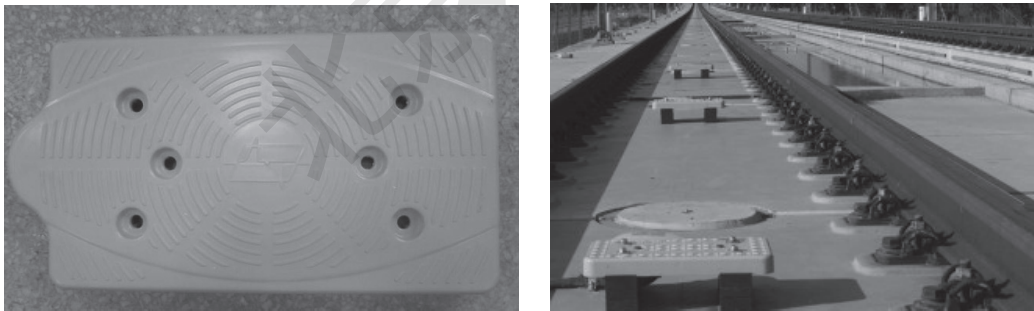


图 2-14 应答器及其在轨道中的应用

进路应答器设置于运行前方进路设有道岔的接近轨道区段，道岔开通位置决定了列车运行的前方进路，而道岔的定位或反位决定了进路的开通方向，当道岔处于定位状态时，激励进路应答器处于工作状态，将前方进路的状态告知经过列车。

信号应答器主要用来反映信号机的显示，并将信息传输给经过列车。因此信号应答器设置在信号机附近。信号应答器有两种：一种是绿色应答器，用于向列车传送信号机绿灯显示的信息；另一种是白色应答器，用于向列车传送信号机白灯显示的信息。当信号机显示绿色灯光时，绿色应答器工作；当信号机显示白色灯光时，白色应答器

工作。城市轨道交通正线信号机显示绿色意味着开通正线的进路，而信号机显示白色意味着开通侧向进路（也可以用黄色显示，各个城市不尽相同）。若信号机显示红色灯，应答器处于呼叫状态。

不同的应答器根据所需表示信号机的显示不同，进行不同组合，然后封装在一个应答器盒内，也可以说一个应答器盒内可以放多个子应答器，而放置其中的子应答器数量和性质与其所要表示的信号机显示的数量和种类有关。由于列车可以从不同方向经过应答器，但应答器送出的信息是给固定方向经过的列车的，因此需要确定经过应答器的列车运行方向。单个应答器无法判断方向，只有含有多个应答器的应答器组才能够确定列车的运行方向。这个方向可以被车载设备识别，用于区分应答器内数据的信息。图 2-15 所示为各类定位应答器的示意图。

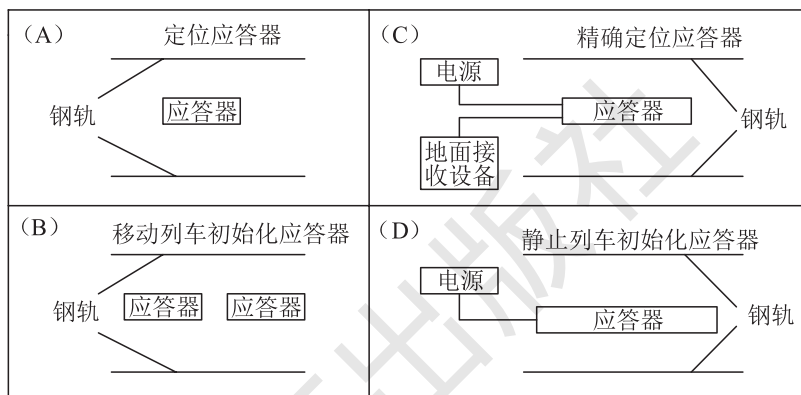


图 2-15 “距离定位”式数字轨道电路的定位应答器

图中(A)为无源应答器，当列车经过应答器时，应答器由车辆的“天线”供电启动，载频为 4.237 MHz，列车经过该应答器后，对列车估算的运行距离进行验证，纠正由于滑行、空转或后退等所造成的误差。

图中(B)为移动列车初始化应答器，当列车进入信号系统，为了校准编码里程计数据时，也可以用此应答器来初始化系统，由于这两个应答器之间的距离是固定的，其中第一个应答器给出信息网络上的定位，并“启动”列车的位移测量系统，来校准编码里程计，第二个应答器给出的信息为网络上的定位，并“关闭”列车位移测量系统，来校准编码里程计。另外，列车在区间的定位消失后，用此应答器对列车重新初始化。

图中(C)为精确定位应答器，这种应答器安装于站台的停车点，它需要外部 220 V 的交流电源供电。此应答器允许将所需信息传递给运行中的列车或已停下的列车，也就是说当列车以 45 km/h 的速度“跳停”站台时，也能保证信息的可靠接收。而当列车停于站台后，用它来进行列车与轨道间的信息传递，列车状态信息也通过此应答器向地面进行传输。另外，精确定位应答器还进行屏蔽门管理以及授权屏蔽门的门控。

图中(D)为静止列车初始化应答器，它是有源应答器，一般安装于线路两端的折

返线处及停车场出口。在列车进入正线的出站信号机前，应答器能在列车经过或停靠时向列车传递所需的信息，也能执行列车向轨道的信息传递。

列车通过应答器可以得到列车在线路上的绝对位置，从而对列车的位移计算进行修正。编码测速计是测量列车位移故障的安全设备，它能安全地检测内部的电子故障，并且通过与另一路设备的测量数据相比较检测出机械故障，它的最小位移误差可达 3 cm。为了消除列车实际位置与 ATP 的测量计算位置的误差，在通过下一个定位应答器后，列车会被重新准确定位。当车辆发生空转（速度突然增加，导致列车有速度而不前进），或打滑（速度突然降低，导致列车前行而没有速度）时，编码测速计可以自动检测，车载系统可通过“列车定位”予以校正。

当以“距离定位”为原则的 ATP 子系统从一个进路区域进入另一个进路区域时，通过传输信息的管理、接收信息的分类，以及数据解码后，提供给应用软件，确定新接收部分的进路地图，与以前接收到的进路地图相连接，从而建立新的进路地图，并在新的进路地图上定位列车。计算出列车的位移及加速度和减速度后，再进行空转或打滑校正，根据接收到的应答器信息，确定列车的实际位置。

在 ATC 系统中，尤其是距离定位制式的 ATC 系统中，应答器都是不可缺少的设备。

图 2-16 所示为轨旁应答器与车载应答器之间的频率传输情况。该应答器在车地之间的通信需要三种频率的信号，每种频率有不同的用途，如表 2-1 所示。

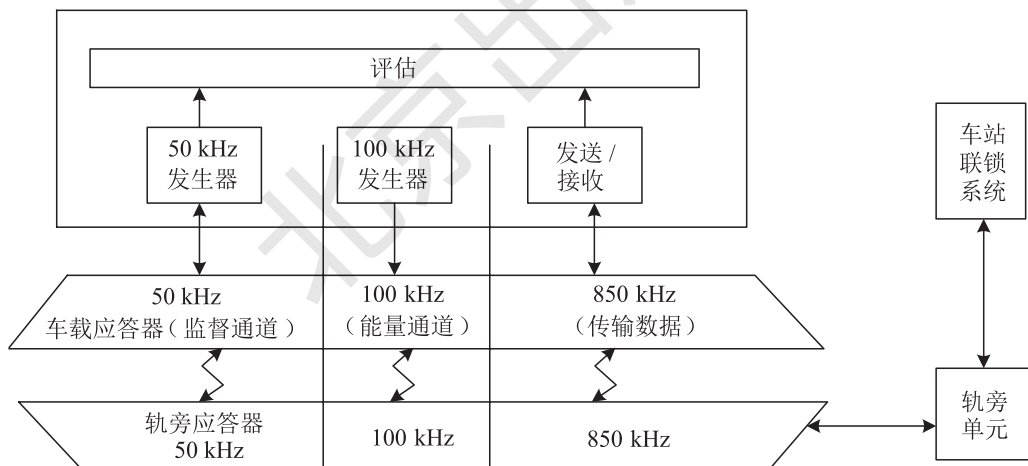


图 2-16 应答器传输频率

表 2-1 点式 ATC 系统中传感器频率配置表

频率	功能
50 kHz	50 kHz 频率未经调制，用于检测轨道耦合线圈的存在
100 kHz	100 kHz 频率未经调制，用于向轨道耦合线圈提供电源
850 kHz	在 850 kHz 频率范围内，将传输来自轨道耦合线圈和轨道传输环线的二进制数据报文及具有键控频率 823.5 kHz 和 875 kHz 的信号用于调制，数据速率为 50 kbit/s



其中, 50 kHz 由谐振电路持续传输, 这样可以确保谐振电流的强度始终得到检查。车辆车载电路的阻抗, 在与轨道耦合线圈的无源谐振电路进行耦合时, 会产生变化。谐振电流引发的变动将作为检测轨道耦合线圈的一项条件。100 kHz 发生器从车辆上恒定传输 100 kHz 的频率。当用轨道耦合线圈进行耦合时, 轨道耦合线圈在 850 kHz 的频率范围内, 将接收传输数据所需要的电源送给车辆。发送 / 接收电路可在 850 kHz 的接收通道上接收信息。这些信息经过过滤、解调后, 恢复为轨道耦合线圈和轨道导线的二进制数据报文, 并将报文传输给车载控制器, 以做进一步处理。

实训模块

1. 准备相关资料, 如信号机、转辙机、轨道电路、计轴器、应答器的工作视频资料, 使学生充分掌握城市轨道交通轨旁信号设备的概况。
2. 学生汇报学习成果, 教师对学生的评价。

任务 2

学习车载及车站信号设备

学习目标

1. 学习车载信号设备: 车载控制器、司机室显示器、速度传感器、车载天线。
2. 了解紧急停车装置与发车指示器的使用方式。

教学环境

可利用多媒体设备进行直观的理论教学, 利用图片和录制的视频进行初步认知教学, 也可以到现场参观车载控制器、司机操作设备、速度传感器、应答器读取器、车载数据通信系统及车载网络系统、紧急停车装置和发车表示器或其模拟设备。

教学设施

教学用的 PPT、视频以及相关教学引导资料。



理论模块

城市轨道交通的车载信号设备是承载轨道交通高密度行车要求的关键控制系统。城市轨道交通的车载信号设备包括 ATP 和 ATO 两部分，用于接收轨旁设备传送的 ATP 信息，计算列车运行曲线，测量列车运行速度和走行距离，实行列车运行超速防护以及列车自动运行，从而保证行车安全和为列车提供最佳运行方式。本任务将从车载控制器、司机操作设备、车载数据通信系统、速度传感器、车载网络系统等几部分介绍车载信号设备。另外，车站信号设备是城市轨道交通信号基础设备的重要组成部分，它控制着列车的发车时间，显示列车的进站时刻。本任务将从紧急停车装置和发车表示器两方面对车站信号设备进行介绍。

一、车载信号设备

车载信号设备主要包括车载控制器、司机室显示器、速度传感器和车载天线等几部分。

(一) 车载控制器

车载控制器包括基于微处理器的控制器，相关速度测量及位置定位传感器（在轨旁应答器的辅助下）。车载控制器负责列车定位、允许速度执行、移动授权以及其他有关的 ATP 和 ATO 功能。车载控制器的 ATP 采用三取二表决方式，每端的 ATO 有一套冗余的设备，如果一个 ATO 单元发生故障，同一端的另一个 ATO 单元将接替工作，其切换是自动的（不影响列车运行），不需要人工干预。

车载控制器支持七种列车驾驶模式，分别为：

1. 全自动驾驶模式；
2. 有 ATP 防护的人工驾驶模式；
3. 点式 ATP 驾驶模式；
4. 点式 ATO 驾驶模式；
5. 受限的人工驾驶模式；
6. 非限制人工驾驶模式；
7. 自动折返模式。

车载控制器的功能模块如图 2-17 所示，详细功能为：列车速度和位置的确定；超速保护；紧急制动；列车停靠；方向控制；车门控制；CBTC 驾驶模式；数字无线通信；溜车保护等。

车载控制器通过速度传感器和加速度传感器来确定列车的位置，该位置通过数据通信子系统，传输至区域控制器以及 ATS 子系统，并通过检测安装在轨道中间的静态应答器来修正列车的位置误差。

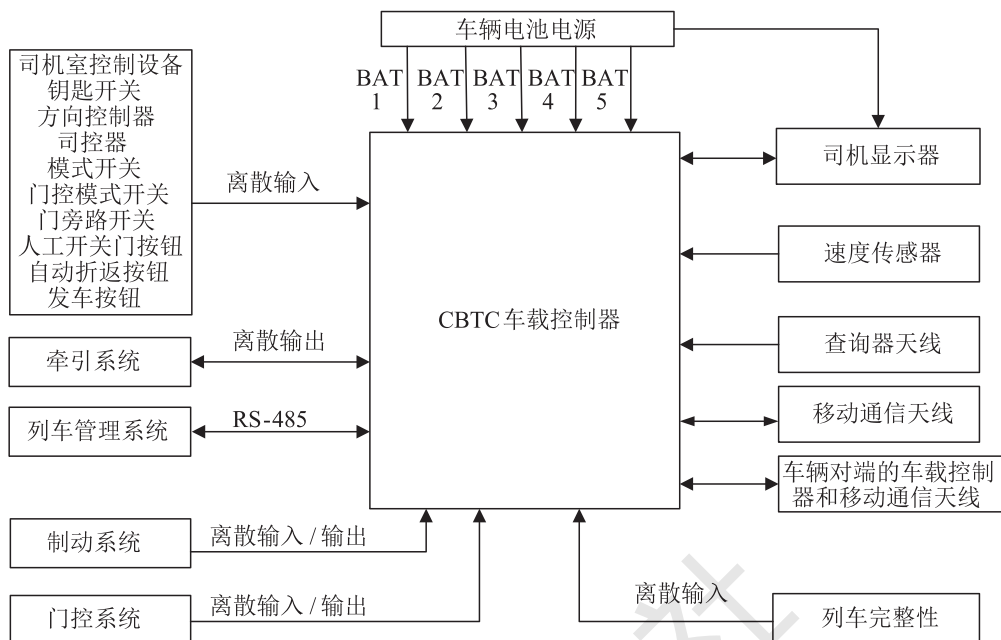


图 2-17 车载控制器的功能模块

(二) 司机室显示器

列车司机室显示器的报警器在列车超速时会发出持续的声音。显示器实际布局完全按运营需求设置。

列车司机室显示器通常配有几个开关和按钮，包括但不限于司机确认按钮；列车司机室显示器显示信息包括但不限于：停站时间结束车载设备状态、当前驾驶模式、超速、速度表和目标距离（至限速点或停车点）等。

(三) 速度传感器

列车每端有两个速度传感器，分别安装在不同的非动力制动轴上。随着车轮轮齿的转动，传感器捕捉到轮齿的转动速度后，会输出数字脉冲。这些脉冲由硬件计数器来计数，从而可以在给定周期内测试速度。

加速度计分为两套，分别安装在两端车载控制器机柜的底部。这两套设备互为冗余，用于提高系统的有效性和可靠性。每套有两个不同的加速度计，分别为数字型和模拟型。两套加速度计设备有助于提高加速度传感器的可用性和可靠性。需要注意的是：空转/滑行开始时，列车使用空转/滑行开始前的速度，利用加速度计进行补偿，来计算当前的速度和位置。一旦空转/滑行结束，速度和位移的测量将切换回速度传感器。

两套加速度计为冗余结构，每一套包含两个不同型号、来自不同厂家的加速度计，所以车载控制器允许某一个加速度计失效。当一个加速度计出现故障时，不影响列车的正常运行。

当两个同型号的加速度计同时出现故障时，车载控制器将无法为列车防护功能进行加速度测量；当两个不同型号的加速度计同时出现故障时，根据它们在系统中的位置，车载控制器仍然可以进行加速度测量。

(四) 车载天线

与轨旁天线的选择一样，为了克服隧道内部的多径发射问题以及其他地铁环境中的特殊问题，可使用定向天线作为车载无线单元的外置天线。为了达到更好的接收效果，克服多径问题，车载无线单元的天线配置采用分集天线，即为每一个车载无线单元配置两个定向天线，配置模式为分集模式。两个天线同时工作时，可采用分集模式来采集从两个天线上接收的数据，通过比较，选用较好的数据。

二、车站信号设备

(一) 紧急停车装置和屏蔽门解锁装置

1. 紧急停车按钮

紧急停车按钮位于车站每侧站台首末两端的墙上或者立柱上，当车站内发生火灾、卧轨、乘客不慎掉入轨道内等紧急情况；或者当车站乘客比较多，有乘客抢上抢下的情况；或是出现乘客、乘客的物品被屏蔽门夹持的情况时，击碎玻璃并按压按钮 3 s 以上，可使该侧行驶中的列车实现紧急制动。如图 2-18 所示。



图 2-18 紧急停车按钮

2. 屏蔽门解锁装置

屏蔽门解锁装置位于屏蔽门内侧，当有人被夹在列车门与屏蔽门之间或屏蔽门无法自动开启时使用。依照指示按箭头方向旋转手柄，徒手即可从内侧打开屏蔽门。如图 2-19 所示。



图 2-19 屏蔽门解锁装置

(二) 发车指示器

城市轨道交通信号系统发车指示器具有指示列车在车站的发车时刻等功能。发车指示器的车站引导控制计算机从 ATS 子系统中接收有关发车指示器显示的内容信息，经处理后将数据显示在相应的发车指示器上，同时将相应的发车故障报警信息发送给 ATS 子系统。发车指示器由计时显示区和发车指示区组成。

1. 计时显示区

计时显示区显示列车的站停时间和计时。列车发出后至下一辆列车到站停稳前处于熄灭（无显示）状态。

(1) 站停显示器

列车停稳后，从 ATS 子系统给定的停车时间开始，用红色 LED 矩阵显示计时显示区。列车已经到达站台的判断由 ATS 子系统完成。列车停稳必须判断的条件是：列车占用站台轨道；对于 CBTC 列车，其位置将会由车载控制器报告给 ATS 子系统。

(2) 发车显示器

计时显示区显示到“000”，表示允许发车，若列车未出发，计时显示区的显示由红色变为绿色后开始进行正计时，显示晚点时间，直到接到列车离开信息为止。列车离开站台的判断由 ATS 子系统完成，该信息将会以“出发标记”送达发车指示器。判断列车是否出发，需要检查以下条件：站台前的计轴区段是否被占用；对于 CBTC 列车，其位置将会由车载控制器报告给 ATS 子系统；对于非 CBTC 列车，其位置由 ATS 子系统通过计轴占用来跟踪。

2. 发车指示区

发车指示区显示发车信号。列车进站停稳后，发车指示器接到计时指令，计时显示区上的红色站停时间开始倒计时，站停时间减到“000”时，发车指示区以白色显示“发车”字样。当计时显示区的显示由红色变为绿色后，开始进行正计时，直到列车出发为止。



实训模块

1. 准备相关资料,如车载控制器、司机室显示器、速度传感器、车载天线、紧急停车装置、屏蔽门解锁装置和发车指示器等的工作视频资料,使学生充分掌握城市轨道交通轨旁车载信号设备及车站信号设备的概况。

2. 学生汇报学习成果,教师对学生的进行学习情况进行评价。

思考与练习

一、填空题

1. 按设置地点,轨道电路可分为_____和_____。
2. 轨道电路是利用_____和_____构成的电路。
3. 道岔控制电路分为_____和_____两部分。_____指动作电动转辙机电路,_____指反映道岔位置电路。
4. 交流轨道电路有很多种类,频带用得很宽,大体可分为三段:_____300 Hz 以下;_____300~3 000 Hz;_____10~40 kHz。
5. 根据能源供应及信息提供方式,应答器可分为_____和_____两类。
6. 红色的光波最长,波长越长,其穿透周围介质(如空气、水气等)的能力越强,显示距离越远;红色比其他颜色的光更能引人注意,所以规定红色灯光为_____信号是最理想的。
7. 通常把道岔经常所处的位置叫作_____;临时根据需要改变的另一位置叫作_____。
8. 车站分_____联锁站和_____联锁站。_____联锁站一般为有道岔车站,也可能是无道岔的车站。_____联锁站一般为无道岔的车站。

二、简答题

1. 城市轨道交通信号机的设置有哪些特点?
2. 简述城市轨道交通信号机的颜色选择。
3. 简述应答器的工作原理及功能。
4. 转辙机的作用有哪些?
5. 轨道电路的作用是什么?
6. 简述计轴器的工作原理。