第一章　安全装备

项目一　轨道电路与机车信号

【项目描述】

为了检查列车占用钢轨线路状态，美国人鲁宾孙于 1870 年发明了开路式轨道电路，并于 1872 年研制成功了闭路式轨道电路。1873 年，该电路首次在宾夕法尼亚铁路试用，从此诞生了铁路自动信号。我国铁路在 1949 年前采用的轨道电路传输信息少，分布也极不平衡。1949 年后，从 50 年代中期开始，轨道电路技术在我国有了长足的发展，不仅传输的信息量增加，而且使用范围遍及全国铁路各线，构成了我国铁路信号技术发展的基础。

机车信号是指在司机室内指示列车前方运行条件的信号。在地面信号机为主体信号的前提下，机车信号为辅助信号，能自动地反映列车运行前方地面信号机的显示状态和运行条件，指示列车运行，并与列车自动停车装置结合，确保列车的安全运行。

【教学目标】

1．能力目标

（1）认识轨道电路设备。
（2）认识机车信号设备。

2．知识目标

（1）掌握轨道电路的结构、工作原理、分类。
（2）掌握机车信号显示的意义。

3．素质目标

（1）培养敬业爱岗、遵章守纪、乐于奉献的职业精神。
（2）牢记安全第一、以质量促安全的职业规范。

任务一　轨道电路认知

【教学目标】

（1）掌握轨道电路的构成和基本工作原理。

（2）掌握轨道电路的技术要求。

（3）了解轨道电路的分类方法。

【教学地点及设备】

1．教学地点

列车监控运行装置应用实训室

2．设　备

LKJ2000 列车监控装置教学台

【教学内容】

一、轨道电路定义

轨道电路是以铁路线路的两根钢轨作为导体，用引接线连接电源和接收设备所构成的电气回路，它是监督铁路线路是否空闲，自动地和连续地将列车的运行和信号设备联系起来，以保证行车的安全，在线路上安设的电路式的装置。轨道电路是以铁路线路的两根钢轨作为导体，两端加以电气绝缘或电气分割，并接上送电设备和受电设备构成的电路。它的主要功能就是反映轨道区段是否被列车占用。轨道电路是构成现代化铁路信号设备的基础，它能否正常工作，直接关系到行车安全和行车效率。

二、轨道电路构成

轨道电路由钢轨、轨道绝缘、轨端接续线、引接线、送电设备及受电设备等主要元件组成。最简单的轨道电路构成形式如图 1.1 所示。

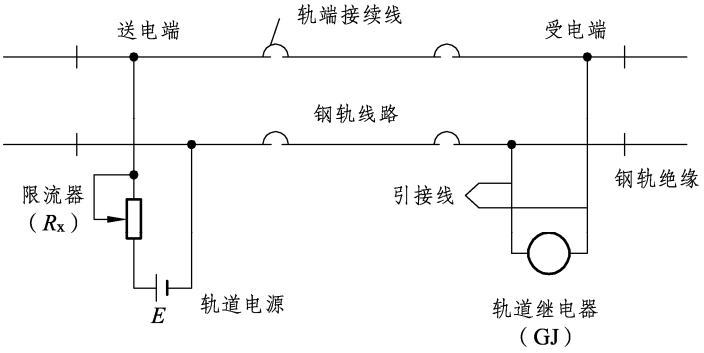


图 1.1　轨道电路的结构

轨道电路的送电设备安装在送电端（又称电源端或始端），它由轨道电源 E 和限流器 R_X 组成。根据轨道电路的类型不同，轨道电源可以用铅蓄电池浮充（或其他直流电源）供电，也可以用轨道变压器或变频器、信号发生器供电。限流器一般为电阻器，也可以采用电抗器，

它的作用是保护电源设备不因过负荷而损坏，并保证在列车占用轨道电路时，轨道继电器能可靠地落下，对某些交流轨道电路而言，它还兼有相位调整的功效。轨道电源采用由电子器件组成的信号发生器时，一般都不设限流器。

轨道电路的接收设备安装在受电端（又称继电器端或终端），目前接收器主要采用的是继电器（轨道继电器 GJ），由它来接收轨道信号电流。电子轨道电路的接收设备一般都采用电子器件，其作用和轨道继电器相同。

轨端接续线是为了减小钢轨的纵向电阻而在轨条的连接处增设的。

钢轨绝缘的作用是分割两相邻轨道电路，从电的方面加以绝缘。但是，相邻钢轨线路之间通过大地仍保持着联系，从而给电流形成了附加通路，使轨道电路的传输复杂化。

两组绝缘节之间的钢轨线路（即从送电端到受电端之间），称为轨道电路的控制区段，也就是轨道电路的长度。

安装方式：送电和接收设备一般放在轨道旁的继电器箱、变压器箱（分散）或信号楼内（集中），直接由引接线（钢丝绳）或通过电缆再由引接线接向钢轨

三、工作原理

当轨道电路控制区段内的钢轨完整，且无列车占用（即线路空闲）时，通过轨道继电器的电流比较大，轨道继电器励磁吸起，前接点闭合，利用轨道继电器前接点的闭合条件，接通信号机的绿灯电路，信号开放，表示轨道电路设备完整、没有被列车占用，允许列车进入该区段，如图 1.2（a）所示。轨道电路若被列车占用，即轨道电路被列车轮对分路，因而钢轨中的信号电流同时通过机车车辆的轮对，由于轮对电阻比轨道继电器线圈的电阻小得多，所以电源输出的电流显著增大，限流器 RX 上的压降随之增加，两根钢轨间的电压降低，当流经轨道继电器线圈的电流减少到它的落下值时，衔铁释放，后接点闭合，信号机的绿灯电路切断，信号关闭。同时利用其后接点的闭合条件，接通信号机的红灯电路，这样就表示轨道电路已经被占用，向续行列车显示禁止信号，如图 1.2（b）所示。当轨道电路某一设备损坏，如引接线或钢轨折断时，轨道继电器也会因得不到足够的电流而失磁，同样使信号机点红灯，禁止列车进入该区段，以保证行车安全。

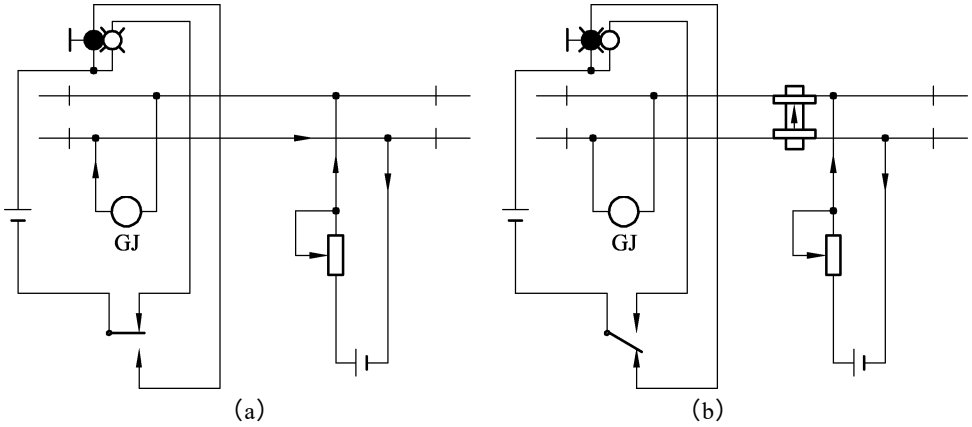


图 1.2　轨道电路的工作原理

轨道电路的工作状态由接收器（即轨道继电器）反映出来，轨道继电器的接点又控制着信号机的显示，信号机的显示指示着列车的运行，列车的运行又称为轨道电路的工作状态，就这样构成了自动控制系统。

四、轨道电路的技术要求

（1）当轨道电路空闲且设备良好时，轨道电路继电器衔铁应可靠吸起。

（2）轨道电路在任何一点被列车占用时，即使只有一个轮对进入轨道电路，轨道继电器应立即释放衔铁。

（3）当轨道电路不完整时，断轨、断线或绝缘破损时，轨道继电器应立即释放衔铁，关闭信号。

（4）对某些轨道电路，还应实现由轨道向机车传递信息的要求。

五、轨道电路分类

1．按工作原理分类

按工作原理分为闭路式轨道电路和开路式轨道电路,传导式轨道电路和感应式轨道电路。

（1）闭路式轨道电路：其发送设备和接收设备分别安装在轨道电路的两端。其特点是当发生断线、断轨或绝缘破损等故障时，由于流经轨道继电器线圈的电流大大减少，所以轨道继电器也会落下，符合信号设备一旦发生故障应倒向安全的原则。

（2）开路式轨道电路：发送和接收设备都安装在轨道电路的同一端，轨道继电器落下表示无车占用。该种轨道电路不符合故障—安全原则，一般情况都不采用。其优点是：对列车的占用反映比较迅速，平时消耗电能较少。因此在驼峰信号设备以及电源比较困难的半自动闭塞区段，常采用两段开路或一段开路一段闭路的形式构成轨道电路。

（3）传导式轨道电路又称电压式轨道电路，感应式轨道电路又称电流式轨道电路。上述所讲的均为电压式轨道电路，电流式轨道电路的原理是：有电源送出交流信号沿钢轨流经负载阻抗时，在钢轨周围产生交变磁场，磁场中放置电感线圈，线圈中产生电动势，使电流接收器工作。

2．按信号电流的性质分类

按信号电流的性质分为直流轨道电路和交流轨道电路。轨道电路的电源采用直流供电的，称为直流轨道电路，它常用在交流电源不可靠的非电力牵引区段，当交流停电时，由平时浮充供电的蓄电池供电。由于该轨道电路安装电源设备较困难、检修不方便和容易受迷流干扰等原因，今年新安装的轨道电路很少采用。

采用交流供电的轨道电路，称为交流轨道电路。下面简单介绍几种交流轨道电路。

（1）交流连续式安全型整流轨道电路：由于该轨道电路的轨道继电器线圈的串联电阻值是 480 Ω，因此又称为“ 480 ”型轨道电路。因为该轨道电路电源的频率为 50 Hz，故该轨道

电路只能应用于非电化区段。如图 1.3 所示为该轨道电路的结构图。

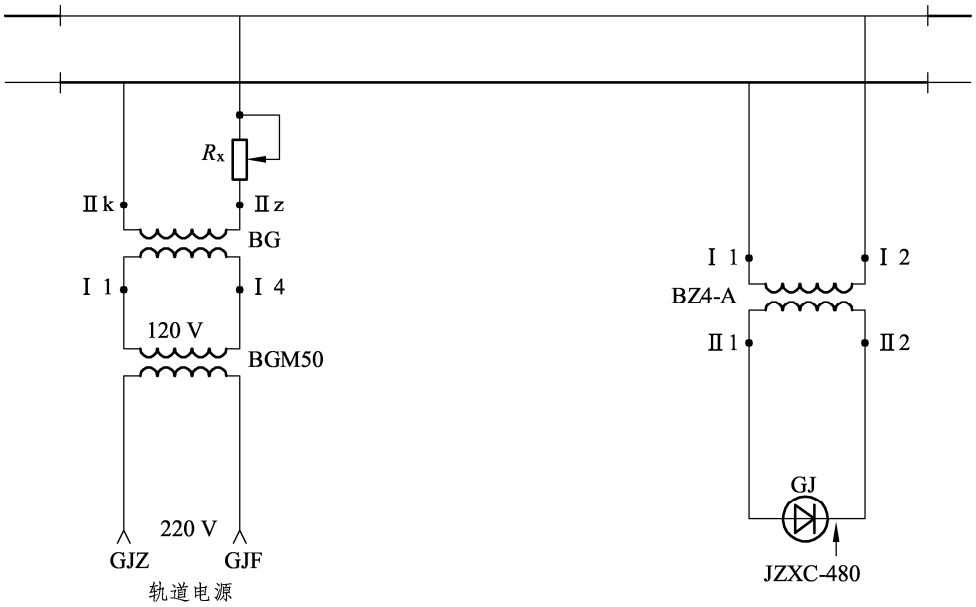


图 1.3　交流连续式“480”轨道电路

（2）2.25 Hz 相敏轨道电路：适用于电化和非电化区段，结构如图 1.4 所示。

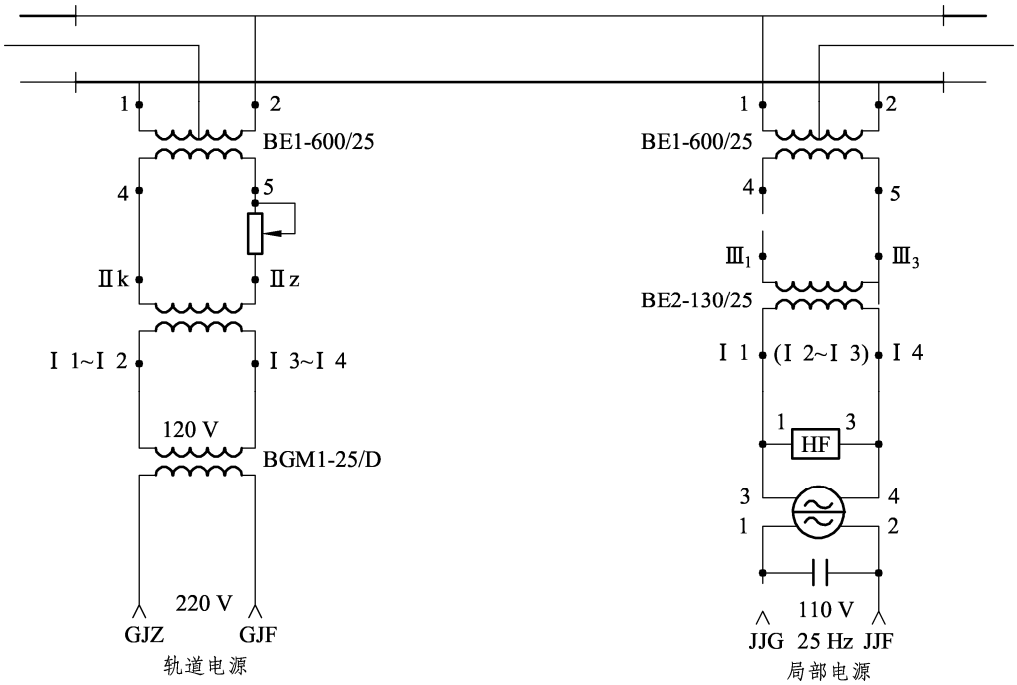


图 1.4　电化区段双扼流 25 Hz 相敏轨道电路

该轨道电路特点有二：一是轨道电路的信号源由铁磁分频器供给 25 Hz 交流电，以区分

50 Hz 牵引电流；二是接收器采用二元二位相敏轨道继电器（JRJC）。由图 1.4 可以看出，该继电器的轨道线圈由送电端 25 Hz 电源经钢轨传输后供电，局部线圈则由 25 Hz 局部分频器供电。轨道继电器工作时，从轨道电路取得较小的功率（约 0.57 W），而大部分功率是通过局部线圈取自局部电源（约 8 W），因而轨道电路的距离可以延长。同时该轨道电路具有可靠的频率选择性和相位选择性，因而它的抗干扰能力较强。

（3）移频轨道电路：可分为非电化区段、电化区段站内和电化区段区间三种轨道电路，这三种轨道电路的动作原理是相同的，电路结构原理如图 1.5 所示。

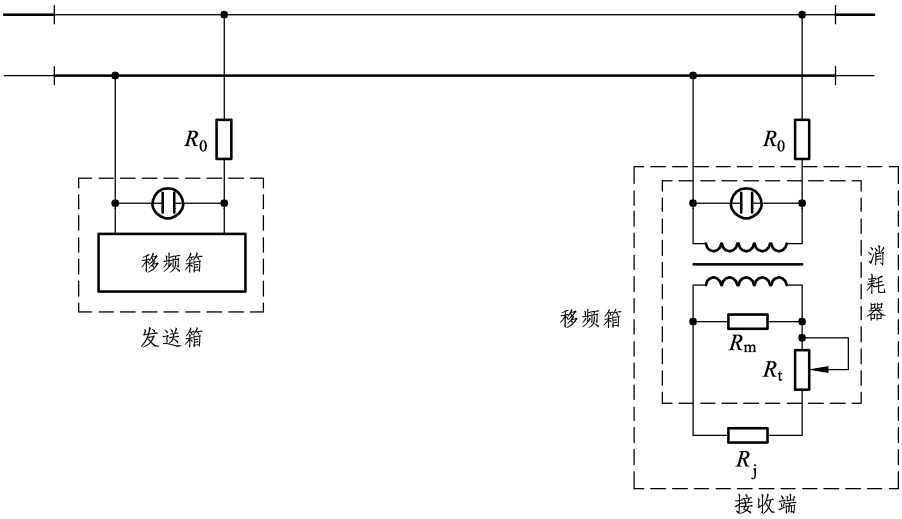


图 1.5　移频轨道电路结构框图

送电端发送的信号由功率放大器直接馈送到钢轨上，图中的 R_0 是引接线电阻，在送电端不设调整电压的元件，因而送电端的电压是不可调的。但是由于发送设备是由电子器件组成，因而送电端的输出电压将会受到电源电压的波动及轨道电路输入阻抗模值变化的影响。在受电端，为了使收到的信号电平比较稳定，轨道上送来的信号要通过衰耗器再接至有关设备。衰耗器中串接可调电阻 R_t，根据轨道电路的长度及线路漏泄情况，调节 R_t 的阻值，就可以达到调整轨道电路接收端电平的目的。

移频轨道电路在钢轨上传送的是经低频调制过的音频信号，该信号是振幅不变，频率由 f_1 与 f_2 交替变化的移频波，音频 f_1 和 f_2 交替变化的频率则由低频信息决定。移频轨道电路的中心载频频率有 4 种，上行线为 650 Hz 和 850 Hz，下行线为 550 Hz 和 850 Hz。频偏 Δf 为 55 Hz，调制信号的频率采用 11 Hz、15 Hz、20 Hz 和 26 Hz，即我们平常所说的四信息。

3．按机车牵引电流的回归方式分类

按机车牵引电流的回归方式分为单轨条轨道电路和双轨条轨道电路。大部分轨道电路采用后者。

4．按供电方式分类

按供电方式分为连续式轨道电路和脉冲式轨道电路。连续式轨道电路的电源提供连续的

直流或交流电流，轨道继电器在轨道空闲、设备完整的情况下经常吸起，这时轨道继电器线圈中的电流必须在工作值以上或等于工作值。当轨道电路被车占用或断轨情况下，通过轨道继电器的电流必须降低到小于或等于可靠落下值。一般电磁继电器的落下值为工作值的 50%，而可靠落下值为落下值的 60%。因此，当连续式轨道电路被列车占用或断轨时，轨道继电器线圈中的电流必须减小到工作值的 30%才能保证行车安全，这样，轨道电路的极限长度被限制在 1500 m 左右。

脉冲式轨道电路是间歇（断续）供电的，在轨道空闲时，其轨道继电器线圈中的电流也是断续的，所以它的衔铁随着送电端的供电而脉动。为了在正常情况下轨道继电器能可靠地脉动，此时继电器线圈中通入的电流值应是工作值的 1.2 倍（称为可靠工作值）。由于轨道继电器的衔铁在脉冲间隔里自动落下，当轨道电路被车占用或断轨时，只要求轨道继电器不吸起就可以了，这时轨道继电器线圈中的电流应小于或等于继电器的可靠不吸起值。因此，脉冲式轨道电路的极限长度一般可达 2500 m 以上。

5. 按轨道电路的分割方式分类

按轨道电路的分割方式分为有绝缘节轨道电路和无绝缘节轨道电路。对于有绝缘节轨道电路，当相邻轨道电路的钢轨连接时，既要有足够的强度以保证列车运行的安全，又要保证有足够的电气绝缘，以实现电气分隔。目前，我国采用尼龙绝缘节作为分隔设备。但由于上述元件要承受车辆行走时的冲击力、剪切力，所以很容易破损，导致电气隔离性能消失。此外，绝缘节的安装，给长轨无缝线路的应用带来了麻烦。在轨道电路的分割处，为了安装绝缘节，一定要把长轨锯断，从而降低了轨道强度，使线路维护工作复杂化。另外，当绝缘节安装在电气化区段时，则沿钢轨构成的牵引电流回路的连续性被破坏，为此需增设扼流变压器等特殊器件，以便让牵引电流绕过绝缘节。综上所述，有绝缘节轨道电路对列车运行并不理想。

无绝缘节轨道电路又分为自然衰耗式（无电气分割点）和电气隔离式（又称谐振式，有电气分割点）。

当信号电流的频率增加时，钢轨线路阻抗的模值将增大，轨间的漏泄也会增加，因此信号电流的衰耗将增加。信号频率为 20 kHz 左右时，轨道上电流（电压）传输的衰耗是很大的，当向轨道馈送 2～3 V 的电压时，在距离馈电点百米左右的范围外，电压就会衰耗殆尽，这就是自然衰耗式无绝缘轨道电路的工作原理。通过选择适当的信号频率及发送设备的输出功率，经计算就会得到轨道电路的长度。反之，已知轨道电路的长度，可以确定发送设备的输出功率。

电气隔离式无绝缘轨道电路的工作原理如图 1.6 所示。

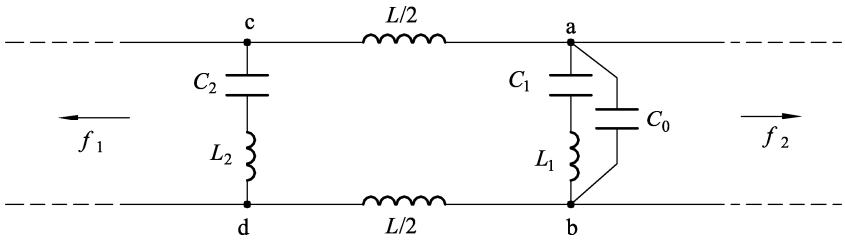


图 1.6　电气隔离式无绝缘轨道电路

图中，abcd 为电气绝缘区域，其中 L_2、C_2 是串联谐振槽路，它的谐振频率是 f_2。对 f_2 而言，cd 槽路好似一根短路线，故 cd 是 f_2 的边界线，它可以阻止 f_2 频率信号向 f_1 区域传输。同样，ab 两点的 L_1、C_1 槽路也是串联谐振回路，它谐振于 f_1 频率，故 ab 两点对 f_1 频率而言，也相当于一根短路线，可以阻止 f_1 频率向 f_2 区域传输，故 ab 两点是 f_1 的边界线。因此，abcd 区域既是电气绝缘接头，又是相邻信号频率的交叉区域。

在一般情况下，频率 f_1、f_2、钢轨电感 L 是已知的。cd 谐振槽路的 L_2、C_2 可按图 1.7（a）三元件二端网络求出。ab 槽路的 C_1、L_1、C_0 可根据图 1.7（b）的四元件二端网络求出。

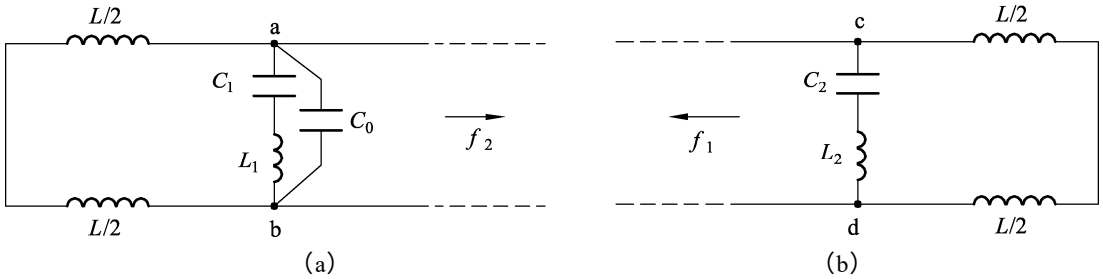


图 1.7　电气分隔点的等效电路

任务二　机车信号

【教学目标】

（1）掌握机车信号的分类。

（2）掌握机车信号显示的意义。

【教学地点及设备】

1．教学地点

列车监控运行装置应用实训室

2．设　备

LKJ2000 列车监控装置教学台

【教学内容】

一、机车信号概述

机车信号是指设在司机室内反映列车前方运行条件的信号显示，是一种能够自动显示列车运行前方地面信号机显示的机车车载系统，它可以反映列车的运行条件，通过对接收到的

地面信号的处理，得到列车运行前方信号机的显示信息，并将该信息通过机车信号显示机构复示出来。可以说机车信号是设于机车驾驶室内用来反映机车前方运行条件、指导司机运行的信号，是保证铁路行车安全的重要设备之一。

机车信号发展初期，其功能是为了改善司机瞭望条件而向司机复示地面信号。随后在机车信号设备的基础上增加了自动报警、自动停车设备，机车信号设备不仅向司机提供信号显示，同时向后级设备提供信号来源，机车信号成为提高运输安全，实现车上自动报警、自动停车功能所必备的重要车载设备，被作为机车“三大件”之一（见图 1.8）。

图 1.8　通用机车信号

二、机车信号工作原理

机车信号工作原理如图 1.9 所示。

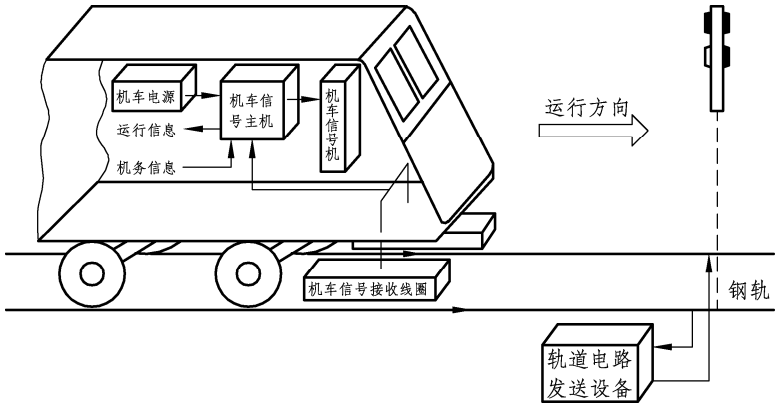


图 1.9　机车信号原理

机车信号车载设备主要由机车信号接收线圈（机车感应器）、机车信号主机、机车信号机组成。地面信号发送设备（轨道电路发送设备）由电动发码器、传输继电器、发送轨道变压器、轨道电路和相应的连接线等组成。轨道电路发出信号电流，在钢轨周围产生交变磁场，被安装在机车头部排挡器下面的两个机车接收线圈接受。接收线圈将接收到的地面信息传递给主机，主机对地面信息进行识别、译码后输出与地面信息相对应的灯显信息，灯显信息通过机车信号机显示出来。

三、机车信号分类

按照从地面向机车传递信息方式的不同，机车信号分为三种类型：点式、连续式和接近连续式。

1．点式机车信号

点式机车信号主要应用在非自动闭塞区段。只在线路上某些地点（一般在进站信号机外方制动距离附近）设置发送设备，将地面信号机的显示变成信息向机车上发送。它只在这个固定地点复示进站信号机的显示。

2．连续式机车信号

连续式机车信号主要用在自动闭塞区段，利用自动闭塞分区的轨道电路向机车上传送信息。因此，在整个区间正线上，机车信号能连续地反映前方地面信号机的显示。

3．接近连续式机车信号

接近连续式机车信号用于非自动闭塞区段，它是点式和连续式的综合。在进站信号机外方制动距离附近的固定地点设置发送设备，并从固定地点到进站信号机之间又加装一段轨道电路。因此它从固定地点开始一直到进站信号机处为止，都连续不断地向机车上传送地面信号的信息，使机车信号机连续复示进站信号机的显示。

我国铁路目前采用的机车信号分为接近连续式和连续式两种。接近连续式多用于非自动闭塞区段。在进站信号机外方制动距离附近的固定地点设置发送设备，并从固定地点到进站信号机之间加装一段轨道电路。从列车最前面的车轮轧在轨道电路上时起，发送装置就连续不断地向机车上传送地面信号的信息，使机车信号机连续复示进站信号机的显示。

连续式机车信号没有距离限制，只要列车在轨道上行驶，被机车第一轮对短路的轨道信号电流就会在钢轨周围产生磁场。装在机车上的感应器接收到信号，经过解码使机车信号机不断地显示与前方地面信号机相同的信号。

随着运输要求的提高和技术的发展，要求将机车信号的译码输出提供给已广泛配备的列车运行监控装置，对机车信号设备的性能要求随之提高，机车信号除了向司机提供显示外，向后级列车运行监控设备提供信息成为一项重要功能。

四、机车信号显示的意义

8 显示机车信号包含 11 种意义。

（1）绿灯：准许按规定速度运行。

（2）绿/黄：准许按规定速度注意运行。

（3）黄灯：要求列车减速到规定的速度等级。

（4）2 黄：预告次架信号机，显示 2 个黄灯。

（5）黄/红：要求及时采取停车措施。

（6）黄/黄：表示列车接近的地面信号机开放经道岔侧向的进路。

（7）红灯：表示列车已越过显示红灯的信号机。

（8）白灯：不复示地面信号机的显示，机车乘务人员应按地面信号显示运行，双线双向自动闭塞反方向按站间闭塞运行。

（9）双半黄色闪光：要求列车限速运行，表示列车接近的地面机开放经 18 号及以上道岔侧向位置进路，且次架信号机开放经道岔的直向或 18 号以上道岔侧向位置进路；或表示列车接近设有分歧道岔路所在的地面信号机开放经 18 号道岔及以上道岔侧向位置进路。

（10）2 黄闪：表示地面信号机显示一个黄色闪光和一个黄色灯光。

（11）红/黄闪光：表示列车接近的进站，或接车进路信号机开放引导信号，或通过信号机显示容许信号。

（12）无显示：机车信号停止工作。

五、机车信号发展史

1. JT1 型通用式机车信号设备

JT1-A/B 型通用式机车信号是采用数字信号处理技术及高速超大规模集成电路设计而成的新一代通用式机车信号装置。JT1-A 型为单套（见图 1.10），JT1-B 型为双套（见图 1.11），设备能够自动接收移频 4 信息、8 信息、18 信息、交流计数（25 Hz、50 Hz、75 Hz 和微码化）信息、极频信息、UM71 信息及 ZPW2000（UM 系列）等自动闭塞信息。通过制式自动识别并处理后，将相应的信息显示在 8 显示机车信号机构上。

其技术特点：

（1）采用高速 DSP 数字信号处理技术，减少了信号反应识别时间，抗干扰能力增强。

（2）JT1-B 型机车信号设备主机的每块主机板采用二取二容错安全结构，并采用双机热备提高系统的可靠性。

（3）使用双面 8 色灯 LED 机车信号显示器提高了显示器的可靠性。

（4）为监控装置提供机车信号灯位、速度等级、绝缘节等信息。

图 1.10　JT1-A（93）型主机

图 1.11　JT1-B（94）型通机整套设备

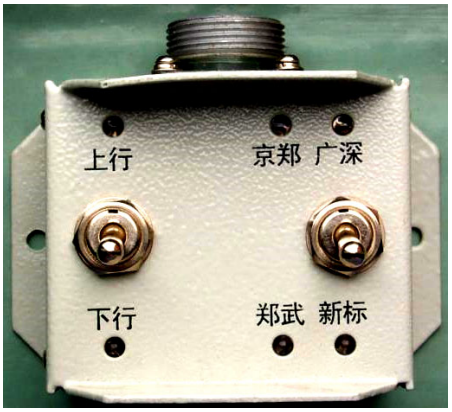
2. JT1-CZ2000 主体化机车信号设备

JT1-CZ2000 型主体化机车信号车载系统，吸取了 JT1-A/B 型通用式机车信号十多年来大面积推广运用的经验，它采用尖端的 DSP 译码技术、创新性的安全冗余技术、完备的海量数据记录技术，充分满足了铁路信号设备“故障-安全”原则，具备高度可靠与高度可用的特点。该系统于 2002 年 7 月通过铁道部技术审查，2003 年 10 月通过铁道部科技成果鉴定，并已在全路推广使用，为保障中国铁路的提速与发展发挥着重要的作用。

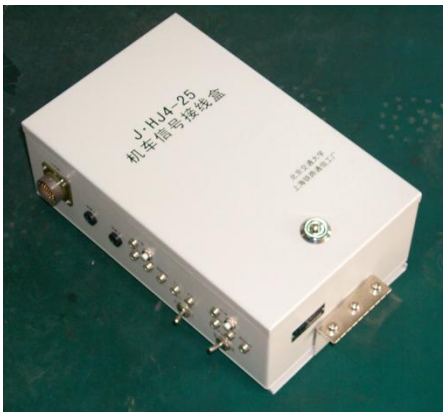
JT1-CZ2000 型主体化机车信号车载系统由主体化机车信号接收主机（含机车信号记录器）、机车信号带电源接线盒、机车信号双路接收线圈、机车信号显示器构成。JT1-CZ2000 型主体化机车信号车载系统设备的构成如图 1.12 所示，显示器可选用双面 8 色灯 LED 机车信号显示器或双面点阵式机车信号显示器。

（a）主机

（b）信号机



（c）开关盒



（d）接线盒

图 1.12　JT1-CZ2000 主体化机车信号设备

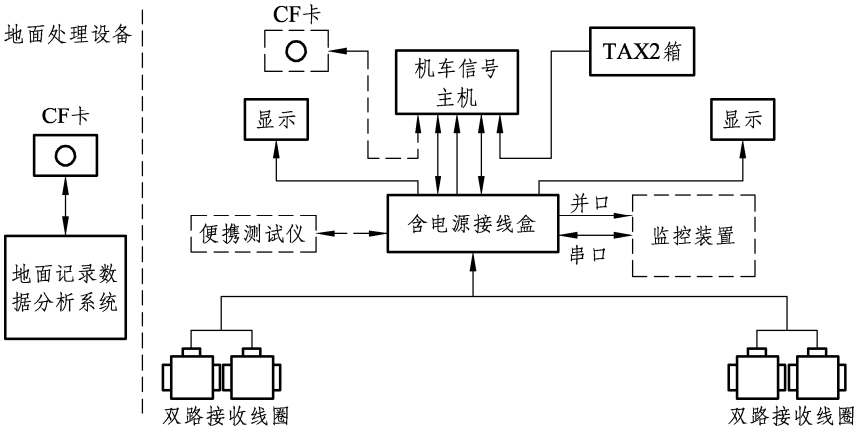


图 1.13　主体化机车信号车载系统设备构成框图

JT1-CZ2000 型主体化机车信号技术特点是：

（1）采用“二乘二取二”的容错安全结构，提高了设备的安全性。

（2）采用 32 位浮点高速 DSP 运算，频域处理和时域处理相结合技术，提高了系统的抗干扰能力。使其抗干扰性能比 JT-A/B 型有较大提高，移频干信比满足用钢轨电流叠加法测试的 3∶1 的要求，UM71 信息接收干信比比 TVM300 略有提高。

（3）具备 UM2000 数字编码信息接收功能加。

（4）采用主机双套热备、双套电源、双路接收线圈接收等冗余技术和 LED 机车信号显示器，提高了系统的可靠性。

该系统的多制式并行接收处理、动态控制安全点灯电源、双路线圈同时接收、系统冗余结构、记录信号原始波形、地面数据处理软件等技术具有创新性。

3. JT-C 一体化机车信号设备

JT1-CZ2000 型一体化机车信号车载系统设备是根据 2000 年铁道部科技司“主体化机车信号的研制”项目要求，开发设计的新一代机车信号设备。JT1-CZ2000 型一体化机车信号车载系统设备采用了“2 乘二取二”的冗余容错安全结构，满足铁路信号设备的“故障-安全”要求。其技术已经广泛应用于轨道车机车信号领域，并在城市轨道交通领域得到应用。JT1-CZ2000 型机车信号车载系统在全路使用，其系列产品占全路机车信号保有量的 90% 以上，在多次铁路大提速中起到了重要作用，创造了巨大的经济效益和社会效益，获得了各个路局的广泛认可。2008 年 11 月，JT1-CZ2000 型机车信号车载系统获得铁道部科技进步一等奖。

该设备符合《JT-C 系列机车信号车载系统设备技术规范（暂行）》（科技运函 2006[82]号）和《JT-C 系列机车信号车载系统设备安装规范（暂行）》（运基信号 2006[243]号），适用于运行速度 160 km/h 及以下的内燃机车、电力机车、动车组。

其主要技术特点：

（1）采用“2 乘二取二”的冗余容错安全结构，机车信号主机内双套热备、双套电源、双路接收线圈接收等冗余措施，提高设备的安全性与可靠性。

（2）采用 32 位浮点高速 DSP 运算、频域处理和时域处理相结合技术，提高接收设备可靠工作的干信比。

（3）各制式信号并行处理，提高了信息译解速度。

（4）采用带有动态控制点灯电源的故障安全电源，进一步提高了系统的安全性。

（5）配套研制了双面点阵式 LED 显示器，或者使用配套的双面 8 色灯 LED 显示器，可靠性高，功耗低。

（6）预留 CAN 总线和 RS485 输出，为机车计算机系统一体化、远程监测等设备提供了条件。