

# 第3章 牵引与制动指令及传输

## 3.1 牵引操纵及牵引功能设置

司机室是司机驾乘的场所,主要设有司机控制台、应急逃生门、开/关客室门的按钮、司机室空调等设备及相关辅助设备。同时在司机室外部装有外部照明灯和标记灯。

司机室由司机室隔离墙将其与客室分开。在司机室的左边安装了应急逃生门,通过司机室左侧顶部的水平轴垂直向上开启。手动解锁后通过气动执行机构机械动作后,可推下专门的接近轨道的紧急梯。该应急逃生门是机械式的,司机室隔门打开后,乘客可通过逃生门的梯子逃出车外。逃生门装有挡风玻璃、一个刮雨器和清洗器。

地铁车辆的司机室驾驶台的台面上共包括 10 块面板,面板 N1 的结构如图 3-1 所示。

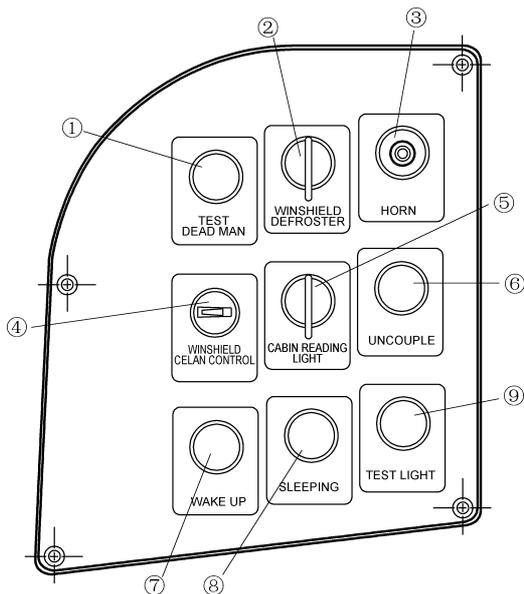


图 3-1 面板 N1

面板 N1 各按钮的功能如下:

① 司机警惕试验按钮 (TDMPB) (黑色)。列车静止,模式选择开关处于 CM/RMF/WM/RMR 位,连续按下该按钮超过 5s,列车触发紧急制动。

② 挡风玻璃除霜开关(DWS),带 OFF/ON 两位。

③ 鸣笛按钮(HPB),按下该按钮,汽笛鸣响。

④ 挡风玻璃清洗控制开关(WCCS)。该开关有 4 个挡位:断续、OFF、速度 1、速度 2。司机通过操纵此开关可选择两挡风玻璃刮雨器的开与关,或刮雨的速度。司机如果想对挡风玻璃喷水就必须按下该按钮。

⑤ 司机阅读灯开关(CRLS)。将其转动到 ON/OFF 位即可开关阅读灯。

⑥ 解钩按钮(UNPB),带白色灯。在当前司机室按下该按钮,该灯点亮,全自动钩打开;以 RMR 向后驱动列车,再次按下该按钮,按钮灯灭,然后停车。

⑦ 唤醒按钮(WUPB)。当列车处于休眠状态时,按下该按钮,电池回路接触器闭合,列车被唤醒,启动自检。

⑧ 休眠带灯按钮(SPB)。当列车处于唤醒状态时,司机首先将模式选择开关置于 OFF 位,降弓或断开车间电源插座(WOS),将司机控制钥匙 KS 置于 OFF 位后按下该按钮,黄色灯点亮 20s 后熄灭,列车进入休眠状态。

⑨ 灯测试按钮(TLB)。在发车前,司机必须检查指示灯的好坏。按下该按钮并检查下列灯的点亮情况:

ATO 启动按钮 1 (ASPB1),在 N6 板上;

ATO 启动按钮 2 (ASPB2),在 N6 板上;

自动折返按钮(ARPB),在 N6 板上;

ATO 限制模式按钮(RMPB),在 N6 板上;

解钩按钮(UNPB),在 N1 板上;

关 A 侧门(左侧门)按钮 1 (DCPB1-A);

关 B 侧门(右侧门)按钮 1 (DCPB1-A);

关 A 侧门(左侧门)按钮 2 (DCPB2-A),在司机左侧柱子上;

关 B 侧门(右侧门)按钮 2 (DCPB2-A),在司机右侧柱子上;

停放制动按钮(PBPB);

所有制动缓解指示灯(ABRI);

摩擦制动故障指示灯(FBFI);

所有制动施加指示灯(ABAI);

门关到位指示灯(DCLI);

允许开 A 侧门(左侧门)按钮 1 (DOPB1-A);

允许开 B 侧门(右侧门)按钮 1 (DOPB1-A);

允许开 A 侧门(左侧门)按钮 2 (DOPB2-A),在司机左侧柱子上;

允许开 B 侧门(右侧门)按钮 2 (DOPB2-A),在司机右侧柱子上;

休眠按钮(SPB),在面板 N1 上。

面板 N7 的结构如图 3-2 所示,其上安装有司机主控制器,它是由选择列车运行模式的机械结构组成。主控制器被用来选择驾驶模式、运行方向、牵引和制动要求。

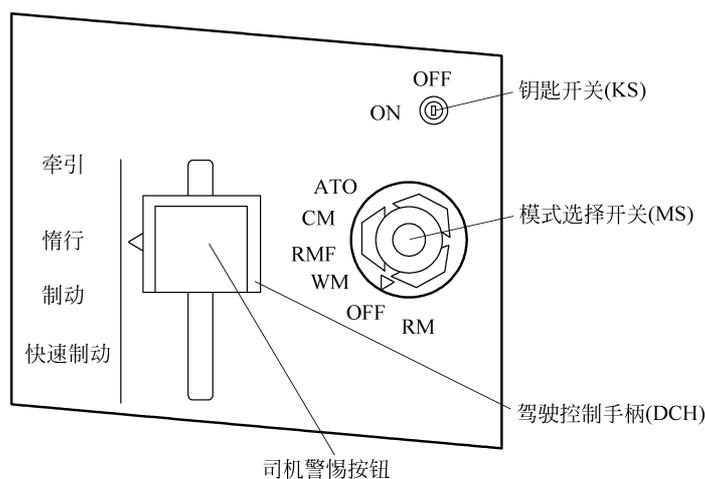


图 3-2 面板 N7 的结构

### 3.2 制动操纵及制动功能设置

一般行车状态下制动系统产生制动作用的指令来自司机制动控制器。司机在行车过程中根据对列车减速效果的期望,根据操纵经验,可以选择制动控制器的手柄位置以发出制动指令,决定制动力的大小并获得所需制动效果。

在轨道车辆制动系统中,通常把手柄位置信息作为制动指令送到列车网络,通过网络主控计算机编码形成数字指令,由网络通信形式传输到各个动车及拖车的制动控制装置,通过计算机控制,在基础制动装置中产生制动作用。也可以直接把手柄位置信息按脉冲宽度调制(PWM)形成模拟指令,经导线传输。

由此可见,司机制动控制器应设置代表不同制动能力的操纵位置,而这种位置和动作区域的划分通常是根据制动功能来定的。

根据列车运行减速、停车等制动要求,传统机车车辆制动系统的制动功能一般分为常用制动和紧急制动,这两种制动功能都可由司机在运行中根据需要直接操纵(见图 3-3(a))。常用制动可以使用电制动或电空制动,而紧急制动通常规定只能用空气制动,即所谓的纯空气制动。

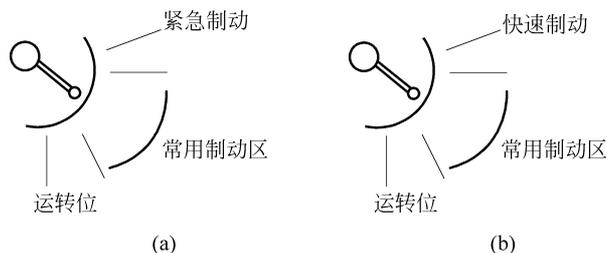


图 3-3 制动操纵功能

随着运行速度的提高,在有的轨道车辆上,对列车运行安全性的要求使得紧急制动作为一种安全制动方式被用于设备故障等紧急情况下、由设备启动的制动方式来使用。在这种情况下,轨道车辆制动系统的制动功能被分为常用制动和紧急制动(或快速制动),这两种制动功能都可由司机在运行中根据需要直接操纵。这种情况下,司机直接操纵的制动功能是常用制动和快速制动(见图 3-3(b)),这种模式常见于日本风格的制动产品。

### 3.3 电气指令模式

如前所述,轨道车辆的电空系统采用电气指令式制动控制系统,制动指令一般是由司机制动控制器送出的,交给列车信息控制网络传输给各车的制动控制装置。除了司机制动控制器,制动指令还可能来自列车运行监控防护车载设备、司机安全装置等。制动指令经由传输系统送到制动控制装置,最终在基础制动装置产生制动力。

电制动指令按指令形成和传递方式可分为数字式指令和模拟式指令。

#### 1. 数字式制动指令

所谓数字式指令是指由 0 和 1 组成的二进制数,1 位二进制数可以表达 2 种信息;2 位二进制数可以表达 4 种信息;在用 3 位二进制数字组合时,可以形成 8 种不同的组合,表达 8 种信息。

在制动控制上,0 和 1 分别对应制动控制线的通断电,可以用 3 位二进制数字组合来代表 0 位及 7 级制动,产生 7 级制动方式(见图 3-4)。如果采用更多的制动控制线,可以得到更多级的制动。按轨道车辆制动控制的经验,就操作方面来说,常用有 7 级制动已经基本够了。

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	1	1	0	0	1	1
2	0	1	0	1	0	1	0	1

图 3-4 三线 7 位数字式制动指令形成原理

这种方式需要定义 3 根线的编码“位”,但抗干扰能力不强。两个级位之间只要某根线串入干扰电平,就有可能引起高低位之间的错码。但这种方式简单,需用的导线较少,在备用指令中可以采用(如 2 线编码、3 位制动)。

实际产品中常采用逐级依次加电的多线组合方式。如采用 7 根指令线,同样形成 7 级常用制动指令(见图 3-5)。这样,级位越高的制动指令的形成需要更多的指令线同时带电才有效,提高了抗干扰能力,同时也有利于用简单的逻辑判断进行指令线传输状态的故障诊断。

0	1	2	3	4	5	6	7
0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1

图 3-5 三线 7 位数字式制动指令形成原理

数字式指令可以用两种方法传输至列车信息控制网络,如图 3-6 所示。一种是在司机制动控制器内部把反映司机操作位置(制动级位)的指令变换成标准电平的数字量,然后用数字通信方式把指令传送给列车网络。采用这种方式时,在司机制动控制器内部安装转换电路或计算机。

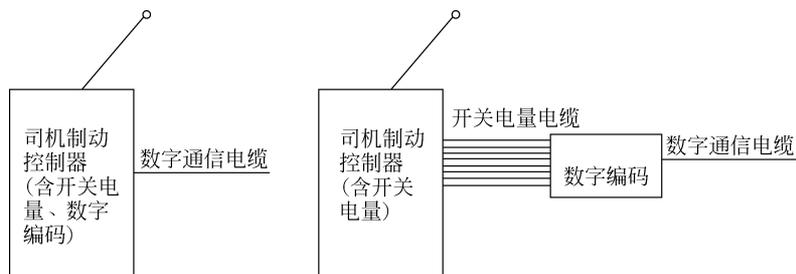


图 3-6 数字式制动指令形成方式

另一种是在司机制动控制器内先形成控制电压的开关量(见图 3-7),经多条控制线送到列车网络,由网络主机内相应的信号处理板完成标准数字量的转换。采用这种方式时,在司机制动控制器内部不需要安装转换电路或计算机,相对简化了制动控制器的结构。

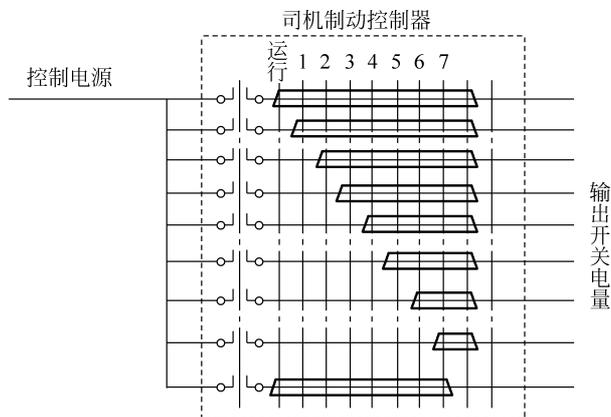


图 3-7 数字式制动指令形成原理

## 2. 模拟式制动指令

模拟指令式是指用模拟电量反映司机制动控制器的级位信息。模拟电量可以采用电压、电流、频率、脉冲宽度、相位等信号来传递制动指令(见图 3-8),以这些模拟量的大小来表示制动要求的大小。

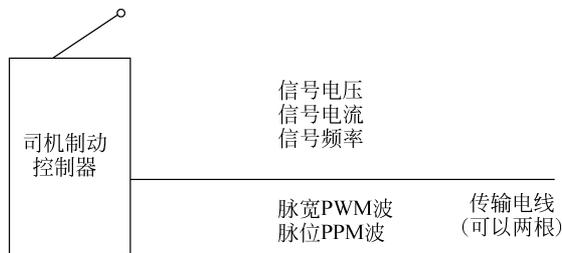


图 3-8 模拟式制动指令形成方式简图

显然,从原理上说,采用大小连续变化的模拟式指令可以实现制动的无级操纵。从操纵上讲,采用模拟式指令虽比数字式指令使司机操纵更方便,但纯粹的无级操纵不容易建立操纵者的条件反射,不方便找到合适的操作位置,因而应用不多。往往司机在制动控制器的手柄上再人为加上便于建立手感的参考定位机构,从某种程度上也就失去了数字式指令的特点。

采用模拟式指令对指令传递的设备性能要求较高,一旦设备性能不能满足要求,可能造成制动指令精度下降,影响制动效果。

## 3. 制动指令的形式及内容

我们知道,在铁路诞生及运营初期,在空气制动发明并获得应用之前,列车施行制动时,司机发出制动指令,后面每节车厢有专门负责制动操纵的制动员,通过手势、声音甚至摇铃等信号,各制动员执行制动操纵。显然要做到控制均匀、一致,必须靠对制动力大小的约定、操纵方法的约定,而不是靠一次发出的制动指令就把所有要求说清楚,因此那时的制动指令应该是非常简单的。

现在轨道车辆的制动系统,指令传输虽然依赖网络,但考虑实时性等,指令本身不应过于复杂和冗长,因为后面的制动控制采用微机,因此指令本身只需反映司机制动控制器的级位即可。

### 3.4 电气指令的传输

#### 1. 数字式制动指令的传输

在轨道车辆上,司机制动控制器发出的制动指令,正常的传输一般交由列车信息控制网

络来完成,列车网络对于来自司机控制器(或列车自动控制系统车载设备、司机安全装置等)的牵引、制动等指令是优先传送的。

在设备故障情况下,可以通过备用传输线(电缆线,简称硬线)向全列车传送(见图 3-9)。

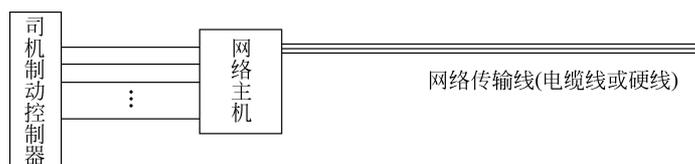


图 3-9 制动指令传输示意图

实际产品中的网络结构、制动控制单元(BCU)与网络的关系如图 3-10、图 3-11 所示。

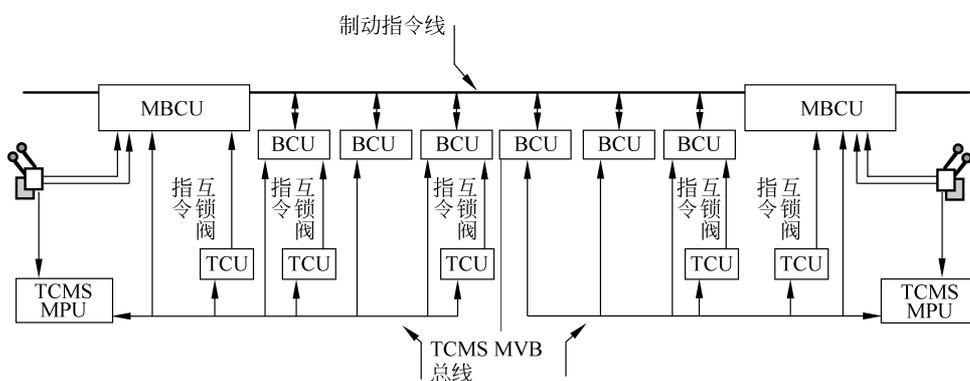


图 3-10 采用列车网络的制动指令传输图(TCN)

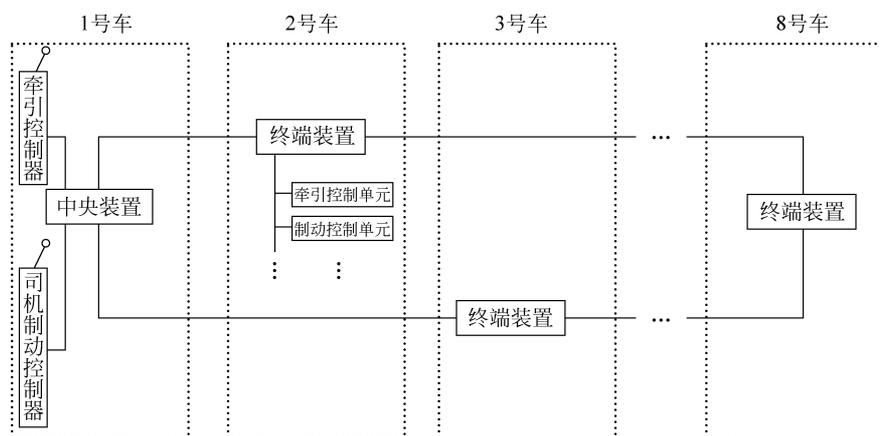


图 3-11 采用列车网络的制动指令传输图(ARCNET 网)

图 3-10 所示的列车网络中,制动系统有一个专门的总线(制动总线),列车上每个制动控制单元(BCU)都与其接口。制动总线可在整列编组上扩展,如两组连挂成 16 辆长编组时。带司机室的控制车上的 BCU 起到制动主控制的作用(MBCU)且与 TCMS MVB 总线接口,获得来自司机制动手柄和列控系统车载设备的制动请求(电制动和空气制动请求)。在编组中 1 号车的主 BCU 通过司机控制台钥匙的插入进行定义,每个 BCU 控制本车的空

气制动阀。在每个动车上的牵引控制单元(TCU)都有与 TCMS MVB 总线的接口,每个 TCU 执行本车电制动功能并且通过硬线连接驱动空电互锁阀。

MBCU 直接读取制动手柄位置和列控系统车载设备的制动请求并处理这些信息,设定制动所需要的电制动力和电空制动力。电空制动命令通过制动总线发送给列车编组的所有 BCU,相应地执行本车空气制动阀的控制;电制动命令通过 TCMS MVB 总线传送给牵引主控制的 MPU 进行处理并通过列车控制网络(MVB 和 WTB)传送给所有的 BCU。

在图 3-11 所示的列车网络中,司机制动控制器或列控系统车载设备发出制动请求信号经中央装置转换成数字信号传送至各车辆的终端装置,再经车辆内部的局部总线传送至制动控制单元,动车的制动控制单元向牵引控制单元发出电制动请求信号,并根据返回信号控制本车的空气制动阀实施所需的空气制动力,同时还要向相关拖车的制动控制单元发送空气制动补足参考信号。

## 2. 模拟式制动指令的传输

模拟式制动指令由司机制动控制器的位置信息经调制或直接编码形成。例如,某制动系统的制动指令信号为 475~525Hz 的 24V 的单极性 PWM 信号,由制动编码器发出。司机主控制器在不同位置时的制动指令 PWM 信号的占空比见表 3-1。

表 3-1 PWM 制动指令信号的占空比

级位	运转	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	FB
占空比/%	15.0	23.8	32.5	41.3	50.0	58.8	67.5	76.3	90.0

PWM 作为制动信号发生装置中最重要的部件之一,PWM 脉宽调制器也是整个制动系统中非常重要的一个单元。它接收来自司机制动控制器产生的电气指令式制动信号以及 ATP 发出的电气指令式制动信号,经逻辑判别及量值比较后,根据协议约定,选择量值较大者作为当前有效电气指令式制动信号,然后进行信号形式的变换,再经继电器箱后送至贯通全车的电空制动指令直通传输线进行传输。经过判别比较后,确定某一输入为当前应该执行的制动指令,然后将此制动指令在信号变换单元中变换,从而产生脉宽按照协议设定规律变化的 PWM 信号,最后送至输出级抬升电压,在强干扰环境下进行较长距离的传输。

PWM 信号的抗干扰能力较强。在轨道车辆上,主要干扰源来自制动系统外部,如主变压器、变流器及其他强电设备;制动系统内部主要是系统供电电源的波动。因此要采取以下抗干扰措施:

(1) PWM 系统各部分(指令电位器、PWM 发生器、传送驱动电路、编码及解码电路)的直流工作源均经一级或多级 DC/DC 模块供电,可有效抑制 110V 直流供电电源中的干扰及 110V 直流电源的波动所造成的不利影响。

(2) PWM 系统各部分电路中均在关键部分设置了尖峰干扰吸收滤除电路,以进一步抑制此类干扰。

(3) 加强隔离措施,以切断有害的电流。

对主要通过交变电磁场方式引入的干扰,通过以下措施加以抑制:

(1) 屏蔽 PWM 系统各部分电路,采用接地及隔离措施,以有效抑制各类交变电磁场及静电场的干扰。

(2) 对最容易受交变电磁场及静电场干扰的布线距离很长的 PWM 信号传输部分,采用以下方法:一是采用较高的 60V 电压传送 PWM 信号;二是传输线采用对称性良好的双绞线,整套信号传输线外部再以铝管加以屏蔽;三是尽量提高整个 PWM 信号的“驱动—传送—接收”环节电路的对称性,从而可增强此长距离传输系统对共模干扰的交变电磁场干扰的抑制能力。

通过增强抗干扰措施的传输才能够实用,以有效提高制动系统的可靠性,避免制动误动作。

## 3.5 指令模式与制动控制模式

### 1. 减压量指令模式

在不同的制动系统中,司机制动控制器发出的制动指令的形式、含义都是不同的。

对于自动空气制动机,当司机操作制动手柄置于常用制动区某个位置时,自动制动阀对制动管排风减压,压力降低到低于预定压力(定压)达到某个差值(减压量)时,制动控制装置的控制阀把该减压量变换成制动缸对应的压力(见图 3-12)。

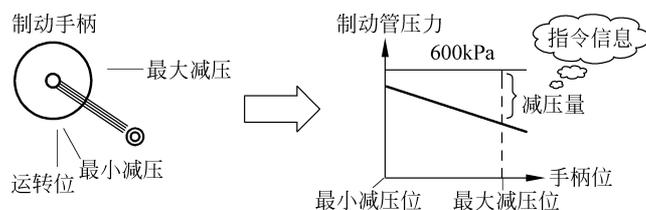


图 3-12 减压量指令方式原理示意图

司机把手柄置于制动区某位置,这时通过将列车制动管与自动制动阀的排风口相连,把制动管压力降低到该位置对应的压力降低量——减压量,该压力降信息在制动管中以空气压力波形式向列车后部传递,每车的三通阀(或某种分配阀)根据减压量大小输出相应的空气压力到制动缸。

因此,自动空气制动机的制动指令是制动管的减压量,信息传递形式是压力波,实际最大传播速度低于大气中的声速,在 200~300m/s 之间。

### 2. 减速度指令模式

对于电气指令方式,当司机操作制动手柄置于常用制动区某个位置(常用制动级位)时,实际上就把反映手柄位的信息如常用 7 位(以下记为 B7),以数字量形式经列车网络传送到

各车制动控制装置,在计算机的计算和控制下,查表找出该级位,此时将与列车速度对应的列车制动减速度与车辆总重等数据一起计算出此时该车所需制动力,控制中级阀向制动缸输出相应的空气压力。

因此,采用电气指令方式的空气制动机,其制动指令的本质是制动手柄位对应的列车制动减速度,也是司机所希望的列车减速度能力和表现,指令信息形式是电气量(模拟量或数字量)。指令的具体内容因指令信息形式的不同而不同。

模拟量表达的制动指令中,指令的具体内容就是电压(或电流、脉冲宽度等)的具体数值;而在数字量表达的制动指令中,经计算机网络传输的是经过编码形成的数字量,其具体内容对应的是指令制动级位的数字量(如 B7),以列车网络通信方式传递。

显然,不论是模拟指令还是数字指令,其传播速度大大高于空气制动波速。其中数字指令信息受网络的传输速度和通信协议的影响,比起纯粹模拟电气指令信息的传输稍有延迟。

减速度指令模式对应了制动控制的减速度控制模式,就是说,制动控制是以轨道车辆应达到或维持预定的减速度为目标的,制动力的分配、调整控制要以此为前提。

## 习题

1. 制动系统通常要具备哪些操纵功能?
2. 模拟式、数字式、制动指令有何区别?
3. 怎样理解制动指令的形式、内容、本质?
4. 列车信息控制网络属于制动系统吗?
5. 制动指令两大模式分别是什么?
6. 轨道车辆采用减速度控制模式,相应地可以说机车车辆采用的是力的控制,它们有何联系与区别?