



## 项目一 动车组制动概述

### 任务一 制动的基本概念

#### 一、制动的基本概念

列车制动是人为地制止列车运动，包括使其减速、阻止其运动或加速运动的统称。

要改变运动物体的运动状态，必须对它施加外力。对于列车，人为地使其减速或阻止其加速的外力是由列车制动装置产生的，它与列车运动方向相反，由轨道作用于车轮轮周，这种外力叫作制动力。

为了能对列车实施制动作用，需要在列车上安装一套完整的制动系统或制动装置。对于传统的机车车辆运用模式而言，列车制动装置由机车制动装置与车辆制动装置组成。制动装置通常是指能产生制动作用的整套机构，一般包括制动机、基础制动装置与供风系统等装置。

制动机是产生制动原动力并进行操纵和控制的部分，包括制动装置中的制动缸、停放制动缸、制动控制装置等。基础制动装置是传送、放大制动原动力并产生制动力的部分，如制动装置中的制动盘、制动夹钳与闸片等。供风系统产生压缩空气，为制动机提供动力源。

制动装置通过司机操纵制动控制器发出的制动指令，指挥制动控制部分向基础制动装置的制动缸送风，使制动缸获得必需的空气压力，经基础制动装置的放大变换，最终形成制动力。

制动作用的解除称为缓解，包括分步操纵的部分缓解（或称阶段缓解）和一次操纵的彻底缓解（或称一次缓解）。

制动距离是从司机将制动手柄置于制动位施行制动作用开始，到列车完全停止所驶过的距离。它是综合反映列车制动装置性能和实际制动效果的主要技术指标，有时也用制动（平均）减速度作为评价指标。制动距离较具体，制动减速度则较为抽象，二者有如下关系：

$$\left(\frac{v \times 1000}{60 \times 60}\right)^2 = 2 \cdot a \cdot S \quad (1-1)$$

$$a = \frac{v^2}{2 \times 3.6^2 \times S} \quad (1-2)$$

或

$$S = \frac{v^2}{2 \times 3.6^2 \times a} \quad (1-3)$$

为了确保行车安全，世界各国都要根据本国铁路情况（主要是列车速度、信号和制动技术等）制定出自己的制动距离（或减速度）标准——紧急（非常）制动距离最大允许值，又称“计算制动距离”。我国《铁路技术管理规程》原来规定的紧急制动距离为 800 m，但随着列车速度的提高，制动距离的标准也要相应加长。对国产 200 km/h 以上的动车组，当制动初速度为 160 km/h 时，规定紧急制动距离为 1 400 m；当制动初速度为 200 km/h 时，紧急制动距离为 2 000 m；当制动初速度为 250 km/h 时，紧急制动距离为 3 200 m；当制动初速度为 300 km/h 时，紧急制动距离为 3 800 m；当制动初速度为 350 km/h 时，紧急制动距离为 6 500 m。

动车组在设计制造过程中，它的最高运行速度和牵引功率要得到充分考虑和计算，而制动能力更是需要认真计算和校核的技术参数之一。它的最大速度与牵引功率有关，但它更应该受到制动能力的限制。

动车组的制动能力是指该列车的制动系统能使其在规定范围内或规定的安全制动距离内可靠地把车停下来的能力。一般动车组的制动功率要比驱动功率大 5 ~ 10 倍。

## 二、制动力的产生

制动力是由制动装置引起的与列车运行方向相反的外力，并且是纵向力；它比列车运行过程中的阻力（如风阻等自然产生的）大得多；列车制动减速过程中，制动力起主要作用（列车运行阻力也起作用）；与牵引力一样，制动力同样受黏着限制（非黏着制动除外）。

制动力可以由多种方式产生，以最传统的空气制动为例，将闸瓦压紧车轮踏面上（见图 1-1），或将闸片压紧在制动盘上（见图 1-2），可以获得所需要的制动力。

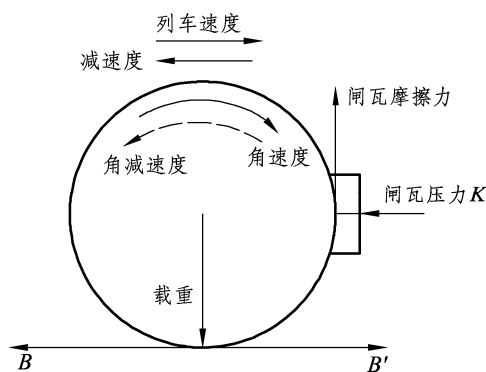


图 1-1 制动力产生示意图（踏面制动）

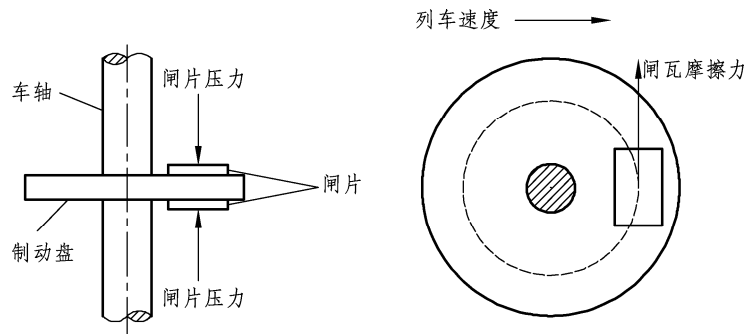


图 1-2 制动力产生示意图（盘形制动）

以轮对为研究对象，闸瓦摩擦力、制动力  $B$  与轮对角减速度  $\theta$  的关系为

$$\sum K \cdot \varphi_k \cdot R - B \cdot R = I \cdot \theta \quad (1-4)$$

式中  $K$ ——每块闸瓦（闸片）的压力，N；  
 $\varphi_k$ ——闸瓦（闸片）与踏面（制动盘）之间的摩擦系数；  
 $B$ ——由轨面反作用于车轮踏面的制动力，N；  
 $R$ ——车轮滚动圆半径，m；  
 $I$ ——轮对的转动惯量， $\text{kg} \cdot \text{m}$ ；  
 $\theta$ ——轮对的角减速度， $\text{rad/s}^2$ 。

图 1-1 中的  $B'$  是由车轮踏面作用于轨面的摩擦力。  
 在式（1-4）中，忽略轮对的转动惯量，则制动力为

$$B = \sum K \cdot \varphi_k \quad (1-5)$$

盘形制动装置的制动力  $B$  按式（1.6）计算：

$$\sum K \cdot \varphi_k \cdot r - B \cdot R = I \cdot \theta \quad (1-6)$$

式中  $r$ ——每块闸片所处的制动盘平均摩擦半径，m。  
 忽略轮对的转动惯量，则盘形制动的制动力为

$$B = \frac{r}{R} \sum K \cdot \varphi_k \quad (1-7)$$

### 三、制动的意义

对于动车组来说，制动的重要性早已不仅仅是安全问题了，它已成为限制列车速度进一步提高的重要因素；要想做到列车的“高速”，除了要有大的牵引功率之外，还必须有足够强的制动能力。

图 1-3 表示列车从甲地出发，经起动、匀速运行和制动工况在乙站停车的过程。在一定

制动能力的保证下，动车组从图中  $A$  点开始减速进站。如制动能力不足，则必须从  $A'$  点就开始制动，从而延长了制动距离，影响了行车效率；若想在原有的减速距离内停车，则列车运行的速度在起动阶段只能提升至  $A''$  点的水平。列车的制动功率和速度的平方成正比，速度为  $200 \sim 350 \text{ km/h}$  的动车组制动功率是普通列车的  $4 \sim 9$  倍。可见，能力强大的制动装置对保证动车组的高速、安全运行有着至关重要的意义。

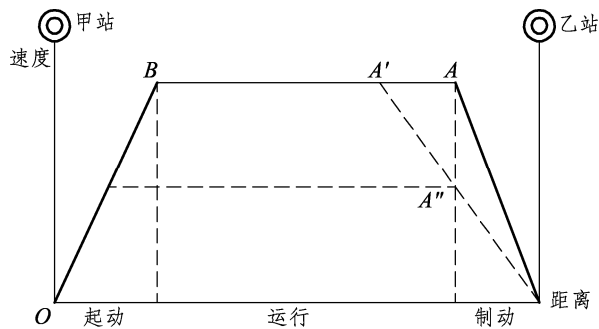


图 1-3 列车制动能力对运行速度的影响

## 四、制动方式

动车组制动方式可以按制动时动能转移方式、制动力形成方式和制动源动力的不同进行分类。

### (一) 按动车组动能转移方式分类

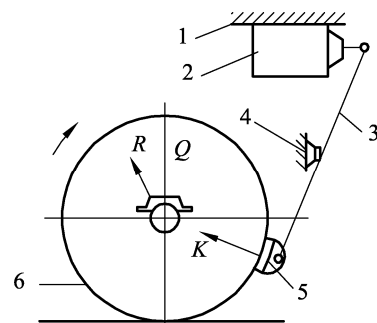
按动车组制动时动能的转移方式不同，动车组的制动可分为两类：一类是摩擦制动方式，即通过摩擦把动能转化为热能，然后消散于大气中；另一类是动力制动方式，即把动能通过发电机转化为电能，然后将电能从车上转移出去或供车上辅助装置用电。

#### 1. 摩擦制动

根据基础制动装置的形式分，摩擦制动又可分为闸瓦制动、盘形制动和磁轨制动三种形式。

(1) 闸瓦制动又称踏面制动，它是一种最常用制动方式，制动时闸瓦压紧车轮，轮、瓦之间发生摩擦，将列车的运动动能通过轮、瓦摩擦转变为热能，消散于大气中。普通铁道车辆与城市轨道交通（简称城轨）车辆通常采用闸瓦制动，如图 1-4 所示。

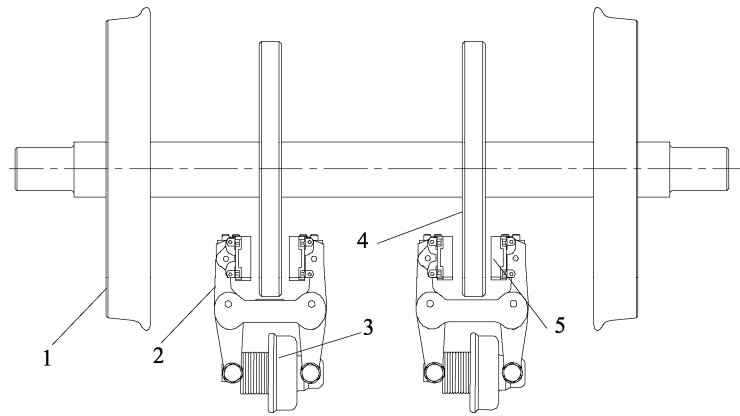
(2) 盘形制动是用带闸片的夹钳夹紧安装在车轮辐板两侧或车轴上的制动盘，使闸片与制动盘产生摩擦而起制动作用。与闸瓦制动类似，盘形制动同样将动车组动能转变成热能耗散于大气中，如图



1—车底；2—制动缸；3—制动杠杆；4—固定支点；5—闸瓦；6—车轮。

图 1-4 闸瓦制动示意

1-5 所示。



1—轮对；2—制动夹钳；3—制动缸；4—制动盘；5—闸片。

图 1-5 盘形制动装置

与闸瓦制动相比，盘形制动有下列优点：

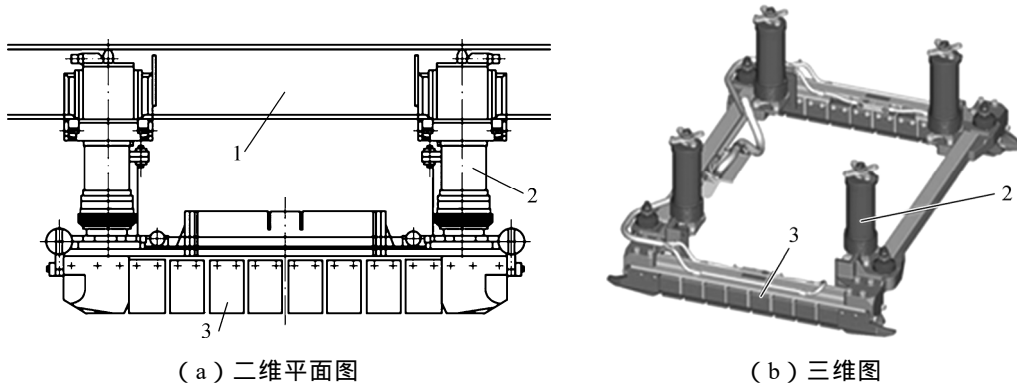
可大大减轻车轮踏面的热负荷和机械磨耗。

可按制动要求选择最佳“摩擦副”。

制动平稳，几乎没有噪声。

因此，盘形制动适合于动车组与普通提速客车。

(3) 磁轨制动是在转向架两侧架下面同侧的两个车轮之间各安装一电磁铁。制动时，通过升降风缸将电磁铁放下，利用电磁吸力紧压钢轨，通过电磁铁上的磨耗板与钢轨之间的滑动摩擦产生制动力，把列车动能变为热能耗散于大气，如图 1-6 所示。



(a) 二维平面图

(b) 三维图

1—转向架侧架；2—升降风缸；3—电磁铁。

图 1-6 磁轨制动装置

磁轨制动的制动力不是通过轮轨黏着产生，不受轮轨之间黏着力限制，因而能在黏着力以外再获得一定的制动力。在高速动车组中，磁轨制动往往与其他制动方式配合进行辅助紧急制动，以满足高速动车组对制动距离的要求。

## 2. 动力制动

动车组在制动时，把原来驱动轮对的自励牵引电动机改变为他励发电机，由轮对带动发电，将动车组动能转化为电能。根据对这些电能的处理方式不同，动力制动又可分为电阻制动和再生制动两种形式。

电阻制动是将列车动能转化出来的电能直接消耗在制动电阻器上产生热能，采用通风设备使热量消散于大气而产生制动作用的一种方式。

再生制动与电阻制动相似，它也是将牵引电动机变为发电机；不同的是，它通过牵引传动的变流器逆向变换，将制动产生的电能反馈回电网。

电阻制动在城轨车辆上被广泛使用，而再生制动在动车组上普遍使用。

### (二) 按制动力形成方式分类

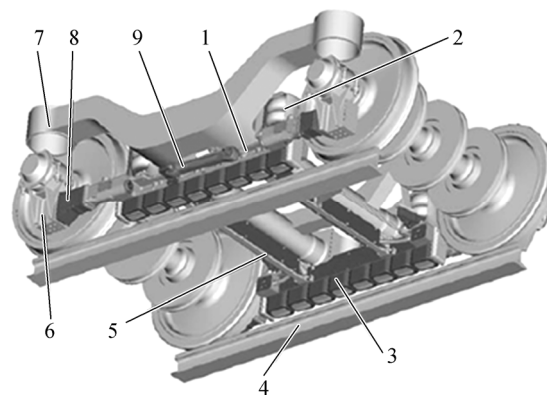
按照制动力的形成是否依赖于轮轨之间的黏着关系，制动可分为黏着制动与非黏着制动。

在传统的制动方式中，如闸瓦制动、盘形制动、旋转涡流制动、电阻制动和再生制动均属于黏着制动，因为其制动力的产生都离不开轮轨间的黏着关系，即轮轨接触区域必须有黏着作用，并且制动力的大小受黏着限制。

相比而言，磁轨制动、轨道涡流制动、翼板制动则属于非黏着制动，因为其制动力的产生与轮轨之间的黏着作用没有直接关系，只取决于制动体与钢轨之间因接触摩擦所产生的制动力，或因电涡流作用而产生的电磁力。

轨道涡流制动与磁轨制动相似，也是把电磁铁悬挂在转向架侧架下面同侧的两个车轮之间；不同的是，电磁铁在制动时只下放离轨面几毫米处，而不与钢轨接触，如图 1-7 所示。它利用电磁铁和钢轨相对运动产生的电磁力作为制动力，其原理如图 1-8 所示。电磁铁和钢轨的相对运动使钢轨感应出涡流，从能量的角度来看，轨道涡流制动是将列车的动能转换为电能，再转换为热能消耗于大气中。

旋转涡流制动是将线圈安置在转向架的构架上，而在车轴上安装有像制动盘一样的金属盘，如图 1-9 所示。当线圈励磁后，金属盘的表面感应涡流并产生洛伦兹力，从而产生制动作用。旋转涡流制动的能量转换过程与轨道涡流制动类似。旋转涡流制动广泛应用于日本新干线 100 系、300 系和 700 系动车组的拖车上。



1—整体式梁；2—升降气囊；3—电磁线圈；4—钢轨；

5—拉杆；6—轴箱装置；7—转向架侧架；  
8—安装座；9—纵向拉杆。

图 1-7 轨道涡流制动装置

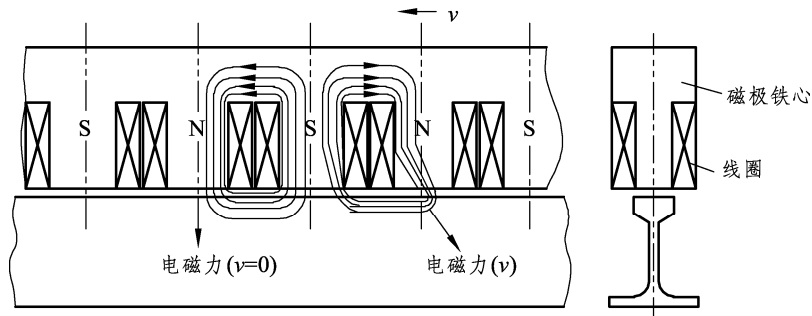


图 1-8 轨道涡流制动原理

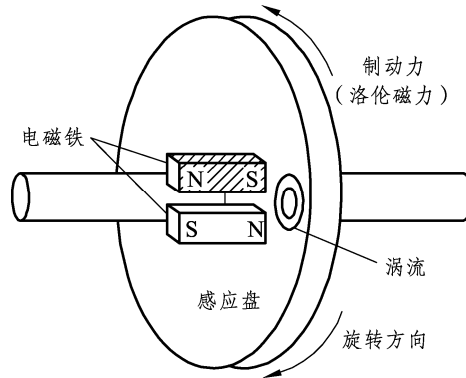


图 1-9 旋转涡流制动示意

翼板制动利用空气动力学的原理，在制动时展开翼板，增加运动方向上的迎风面积，利用大气与翼板的相对摩擦，将列车的动能转化为热能的一种制动方式，如图 1-10 所示。如果翼板的安装位置适当，动车组运行时的空气制动力将增加 3~4 倍，但这种制动方式目前尚处于研发试验阶段。



图 1-10 翼板制动概念图

### (三) 按制动源动力分类

目前动车组所采用的制动方式中，制动力的源动力主要有压缩空气和电力。以压缩空气为源动力的制动方式称为空气制动方式，如闸瓦制动、盘形制动等都为空气制动方式。以电力为源动力的制动方式称为电气制动方式，如动力制动、磁轨制动、轨道涡流制动等均为电气制动方式。

各国高速列车制动方式的应用情况见表 1-1。

表 1-1 各国高速列车制动方式的应用

国别	日本		法国		德国		中国	
型号	100	300	TGV-A	TGV-N	ICE-V	ICE	CRH380A	CRH380B
编组	12M4T	10M6T	2M8T	2M10T	2M3T	2M14T	6M2T	4M4T
速度 / ( km/h )	230	300	300	350	300	280	350	350
列车制动控制方式	电气指令 直通电-液	电气指令 微机控制 电空	电气指令 微机控制 电空	电气指令 微机控制 电空	电气指令 微机控制 电空	电气指令 微机控制 电空	电气指令 微机控制 电空	电气指令 微机控制 电空
备用制动	直通电空	直通电空	空气制动	空气制动	空气制动	空气制动	直通电空	空气制动
动车制动	闸瓦							
	盘形							
	电阻							
	再生							
	涡流							
拖车制动	闸瓦							
	盘形							
	磁轨							
	涡流							

## 任务二 空气制动机

传统的机车车辆制动机有两种类型——空气制动机和电空制动机。电空制动机是在空气制动机基础上引入电控（电磁、电子或微机控制）部分构成的。从制动的源动力来分，两种制动机都可以称作空气制动机。

空气制动系统的制动源动力来自压缩空气，制动力形成依赖于轮轨接触关系，属于摩擦制动。其制动指令的发出和传递，制动力的产生和控制都需要压缩空气。

空气制动系统可以粗略地划分成供风系统、制动控制装置与基础制动装置三大部分。供风系统由空气压缩机、干燥装置、油水分离器、压力传感器、安全阀、风缸、压力表、管路及其附件等组成，其组成形式与具体产品有关。基础制动装置如前面制动方式所述，可采用闸瓦制动、盘形制动、动力制动，其方式也取决于产品类型。制动控制装置虽然有

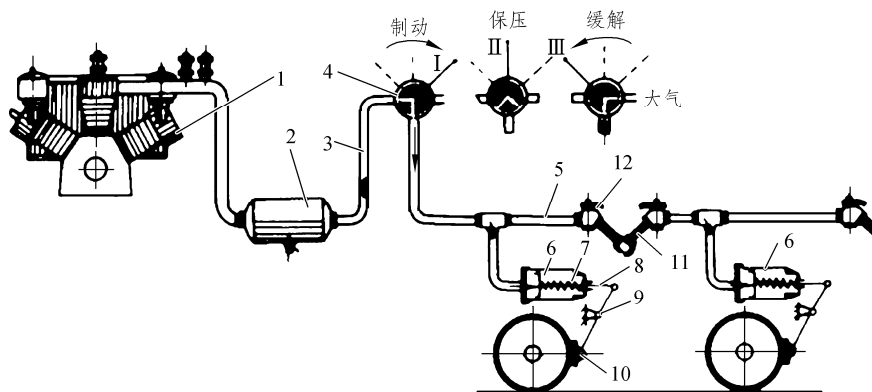


各种不同结构的阀类，但从整个控制原理上可分成两类：直通式空气制动机与自动式空气制动机。

## 一、直通式空气制动机

早期的直通式空气制动机是通过制动控制阀把总风缸的压缩空气直接变成经列车管（制动管）而直接进入制动缸、其压力大小反映制动力大小的压缩空气，直接在制动缸得到所需的制动力，如图 1-11 所示。这种直通式空气制动机的制动控制阀采用简单的结构，操纵上只有制动、保压、缓解三个位置。

图 1-11 中，1~4 号元件通常安装在机车上，其余元件安装在各个车辆上。

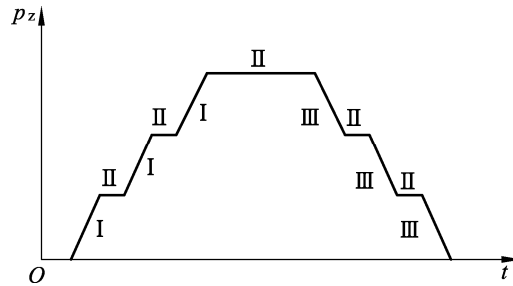


1—空气压缩机；2—总风缸；3—总风管；4—制动控制阀；5—制动管；6—制动缸；  
7—缓解弹簧；8—活塞杆；9—制动杠杆及固定支点；10—闸瓦；  
11—制动软管及连接器；12—折角塞门。

图 1-11 早期的直通式空气制动机示意

当司机操纵机车上制动控制阀的手柄置于制动位 时，总风缸的压缩空气便进入贯通全列车的制动管。制动管包括贯通每辆车的制动主管、折角塞门、端部的制动软管和软管连接器及由每根主管中部接出的制动支管。进入制动管的压缩空气可经每辆车的制动支管“直通”其制动缸，推动制动缸内的活塞右移，压缩其背后的缓解弹簧，使活塞杆向外伸出，从而使装于制动杠杆下端的闸瓦紧紧压在车轮上，产生制动作用。

当司机操纵制动控制阀手柄置于保压位 时，总风缸、制动管和大气三者之间的通路均被隔断，制动管和制动缸的空气压力不变，列车处于保压位。若在制动缸升压过程中将手柄反复置于制动位和保压位，可使制动缸空气压力阶段上升，这种作用称为“阶段制动”，如图 1-12 所示。阶段制动可以缓和长大列车的纵向冲动，提高车辆乘坐的舒适性。



—制动位； —保压位； —缓解位。

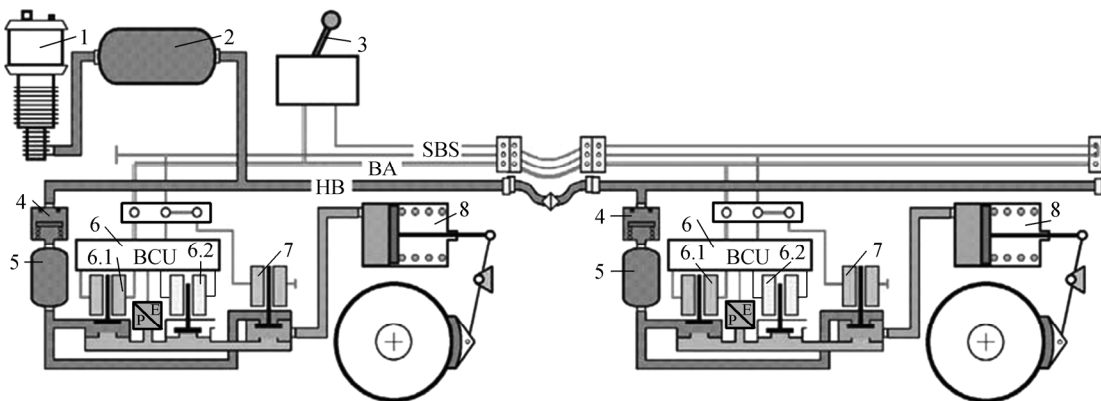
图 1-12 阶段制动和阶段缓解示意

当制动控制阀手柄置于缓解位时，制动管和制动缸的压缩空气可由制动控制阀排往大气。制动缸活塞在缓解弹簧的推动下左移，使活塞杆向缸内缩回，闸瓦离开车轮，制动状态得到缓解。如在制动缸降压过程中将手柄反复置于缓解位和保压位，可使制动缸压力阶段下降，这种作用称为“阶段缓解”，如图 1-12 所示。

这种直通式空气制动机的特点如下：

- (1) 列车管（制动管）增压制动，减压缓解。
- (2) 构造简单，可以阶段制动和阶段缓解，便于调节制动力。
- (3) 当列车发生分离事故，制动软管被拉断时，列车将彻底失去制动能力。
- (4) 制动时所有车辆的制动缸都靠机车上的总风缸经制动管供气，缓解时各车辆制动缸的压缩空气都需经制动管从机车上的制动控制阀排气口排出，因此，列车前后部制动和缓解发生作用的时间差较大，制动和缓解作用时会造成较强的纵向冲动，不适合编组较长的列车。

目前，动车组与城轨车辆使用的制动机是通过改进后的采用电气指令微机控制的直通式电空制动机，如图 1-13 所示。与早期的直通式空气制动机不同的是，该空气压缩机安装在车辆上，制动控制器安装在带司机室的头车与尾车上，每个车辆上均安装有微机制动控制单元，该单元主要包括制动控制单元 BCU、电空转换 EP 阀（包括制动电磁阀、缓解电磁阀）、紧急电磁阀等。并且，它具有单独的排气口，制动缸的压力不需再通过制动控制阀排气，可以避免制动与缓解前后不同步的问题。



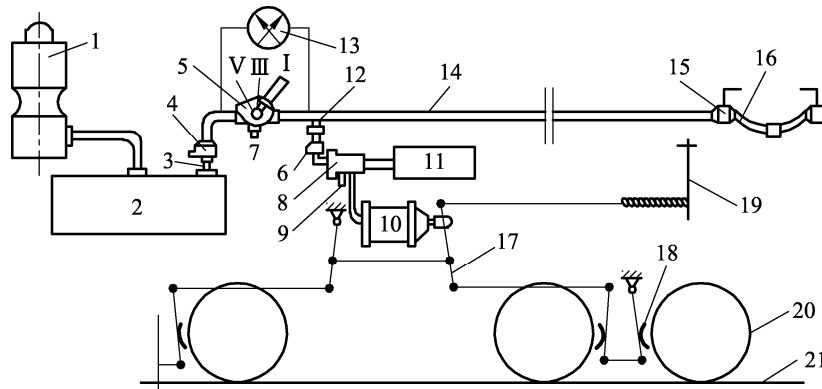
1—空气压缩机；2—总风缸；3—制动控制器；4—单向阀；5—制动风缸；6—微机制动控制单元；  
6.1—制动电磁阀；6.2—缓解电磁阀；7—紧急电磁阀；8—制动缸；HB—总风管；  
BA—制动指令；BCU—制动控制单元；SBS—安全回路。

图 1-13 采用电气指令微机控制的直通式电空制动机示意

制动时，司机通过制动控制器手柄发出电气制动指令，制动指令通过电缆线（光缆）传递到微机制动控制单元。微机制动控制单元进行制动力的计算与分配工作。同时，将总风管的压缩空气按照电气制动指令传递给制动缸。不同的制动作用，电气制动指令的大小不同，制动缸得到的压缩空气压力也就不同，制动力大小也就不同，因此，可以实现各种情况下的不同制动作用。

## 二、自动式空气制动机

自动式空气制动机的基本组成原理如图 1-14 所示。它是通过制动控制阀改变列车管的空气压力，以此压力变化为控制信号，控制车辆制动机的三通阀（分配阀、控制阀），使制动缸获得所需要的空气压力，再经过基础制动装置产生制动作用。图 1-14 中 1~5 号、7 号、13 号安装在机车或带司机室的车辆上，其余元件安装在各个车辆上。



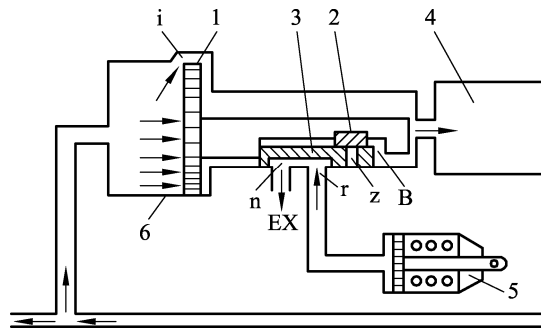
1—空气压缩机；2—总风缸；3—总风管；4—给风阀；5—制动控制阀；6—远心集尘器；7—制动阀排气口；  
8—三通阀（分配阀、控制阀）；9—三通阀（分配阀、控制阀）排气口；10—制动缸；11—副风缸；  
12—截断塞门；13—双针压力表；14—制动管；15—折角塞门；16—制动软管及其连接器；  
17—基础制动装置；18—闸瓦；19—手制动机；20—车轮；21—钢轨。

图 1-14 自动式空气制动机的组成示意

三通阀是指它与制动管、副风缸和制动缸三个元件相通，它是自动空气制动机最简单、最基本的控制阀，有些自动式空气制动装置中的“分配阀”或“控制阀”与此三通阀功能相同，但结构更为复杂。

三通阀由主活塞、滑阀和节制阀等组成，其结构与作用原理如图 1-15 ~ 1-17 所示。

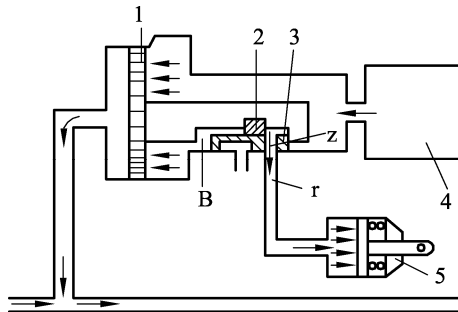
当司机将制动控制阀手柄置于 位充气位，总风缸的压力空气经制动阀进入列车管，列车管压力升高，三通阀主活塞左侧压力升高，推动主活塞带动节制阀及滑阀右移，并打开上端充气沟，列车管内压力空气经充气沟进入滑阀室与副风缸，向副风缸充气，直至副风缸压力与列车管压力几乎相等。同时，滑阀联络沟槽连通制动缸与排气口，制动缸内压力空气经三通阀的排气口排向大气，制动缸活塞由缓解弹簧推至缓解位，呈缓解状态，如图 1-15 所示。



1—主活塞及活塞杆；2—节制阀；3—滑阀；4—副风缸；5—制动缸；6—三通阀；  
i—充气沟；B—间隙；z—滑阀制动孔；r—滑阀座制动缸孔；  
n—滑阀缓解联络沟槽；EX—排气口。

图 1-15 充气缓解位作用原理

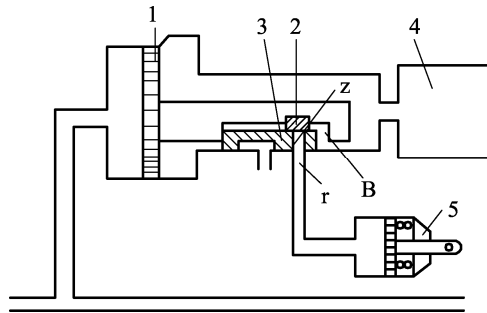
当将制动控制阀手柄置于 位制动位时，列车管的压力空气经制动阀排出，列车管压力降低，该压力变化成为减压，并以压力波形式向列车后部传递到每一节车辆制动装置的三通阀，三通阀的主活塞右侧压力高于左侧压力，推动主活塞先左移一个间隙，关闭三通阀上端的充气沟，再带动节制阀及滑阀移至左端，滑阀关闭了制动缸与排气口的通路，打开了副风缸与制动缸的通路，使副风缸的压力空气进入制动缸，推出制动缸活塞，经基础制动装置的放大作用，使闸瓦以较大压力紧压在车轮踏面，产生制动作用，如图 1-16 所示。



1—主活塞及活塞杆；2—节制阀；3—滑阀；4—副风缸；  
5—制动缸；B—间隙；z—滑阀制动孔；  
r—滑阀座制动缸孔。

图 1-16 制动位作用原理

制动后，当将制动控制阀手柄置于 位保压位时，制动阀的通路被全部遮断，列车管的压力空气既不能从制动阀排出，总风管压力空气也不能由制动阀充入列车管，列车管压力保持不变。起初，三通阀活塞仍然处于制动位，副风缸继续向制动缸充气，使副风缸的空气压力降低，而制动缸的压力增加，直到副风缸的压力稍低于列车管的压力，形成压力差，活塞带动节制阀向右移动一个间隙的距离，而滑阀未动，节制阀遮断了副风缸与制动缸的通路，副风缸的压力不再下降，制动缸的压力也不再上升，三通阀自动形成保压位，如图 1-17 所示。



1—主活塞及活塞杆；2—节制阀；3—滑阀；4—副风缸；  
5—制动缸；B—间隙；z—滑阀制动孔；  
r—滑阀座制动缸孔。

图 1-17 保压位作用原理

若列车管再减压，三通阀则重复上述过程。因此，若需要再增加列车制动力时，司机只需要将制动阀交替置于制动位和保压位，控制列车管压力阶段减压，制动缸压力阶段上升，实现列车阶段制动。

列车管压力在一定范围内减压时，制动缸压力与列车管的减压量成正比。列车管减压量达到最大值时，制动缸压力与副风缸压力相平衡，制动缸压力也达到最大值；此时，若再继续减压，制动缸压力也不会上升。

随着车辆载质量不断增加、乘客对舒适性要求不断提高，对车辆制动性能的要求也越来越严格，设计人员不断对三通阀结构与性能进行改进，形成了分配阀。

自动式空气制动机的特点如下：

(1) 列车管减压制动，增压缓解。

(2) 当列车发生分离事故，制动软管被拉断时，制动管风压急剧下降，列车能自动、迅速地制动直至停车。

(3) 制动时各车都有副风缸分别向本车的制动缸供气，缓解时各车制动缸的压缩空气也分别从本车的三通阀处排出。制动时制动缸的动作较快，风压上升也快，提高了列车运行的安全性，列车前后一致性较好，纵向冲动小，适合于长大列车。

(4) 有阶段制动和一次缓解。

在我国现阶段运营的动车组中，CRH3、CRH380B 和 CRH5 系列动车组将自动式空气制动机作为备用制动，CR200J 集中动力动车组采用自动式空气制动机作为主要制动机。

## 任务三 动车组制动系统

## 一、动车组制动系统的组成

动车组运行速度高，给列车的制动能力、运行平稳性等方面带来了一系列问题。因此，高速动车组必须装备高效和高安全性的制动系统，为列车正常运行提供调速和停车的保障，并保证在意外故障或其他必要情况下有尽可能短的制动距离。此外，高速运行的动车组对制动系统的可靠性和制动时的舒适性也提出了更高的要求。

因此，动车组制动系统的性能和组成与普通的旅客列车有很大不同，它是一个能提供强大制动能力并能更好利用黏着的复合制动系统，包含多个子系统。动车组制动系统主要由电制动系统与空气制动系统构成，空气制动系统又由供风系统、制动控制系统、基础制动装置与防滑装置等组成（见图 1-18），制动时采用电制动与空气制动联合作用的方式，并优先使用电制动。

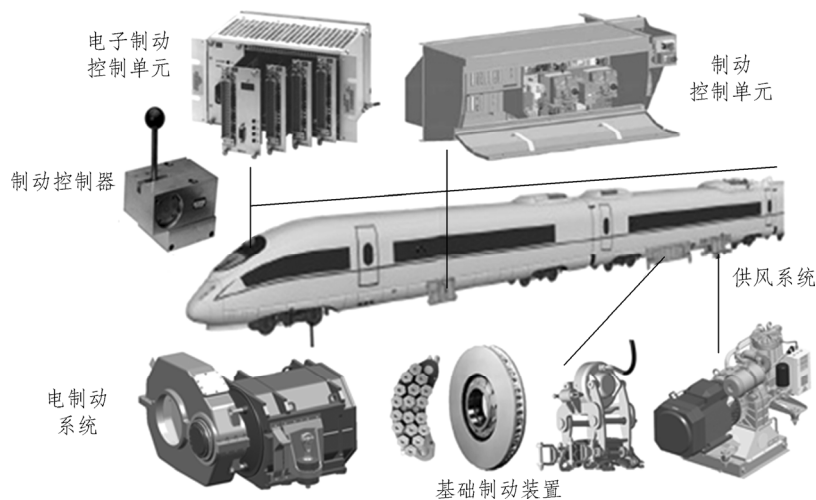


图 1-18 动车组制动系统组成简略图

## 二、动车组制动系统的特点

制动技术是动车组必须解决的九大关键技术之一，为了保证行车安全，动车组必须装备高效率和高安全性的制动系统，并在意外故障或其他必要情况下具有尽可能短的制动距离。一般来说，动车组的制动系统应该具有如下特点：

### （一）安全性高

高速动车组制动系统的制动能力强，反应速度快，具有相当高的安全性。它在结构上具体表现在以下两个方面：

（1）采用电、空联合制动模式，电制动优先，而且普遍装有防滑器。电制动与空气制动结合可保证列车在较大的速度范围内都有充足的制动力，而防滑器的安装可使轮轨间的黏着

力得到充分运用，进而有效地缩短制动距离。电制动由于操纵控制方便，并且可以大大减少空气制动系统零部件的磨耗，因而被优先使用。

(2) 操纵控制采用电控、直通或微机控制电气指令式等灵敏而迅速的系系统。这些装置使制动系统的反应更为迅速，进一步缩短了制动距离。

## (二) 控制准确

制动作用采用微机控制，可为确保列车正点运行精确地提供所需的制动力；对复合制动的模式进行合理设计，使不同形式的制动力达到最佳的组合作用。

## (三) 舒适度高

高速动车组制动作用的时间和减速度远大于普通的旅客列车，因此采取了相应措施来提高旅客乘坐的纵向舒适度；其制动平均减速度、最大减速度和纵向冲动的指标均高于普通的旅客列车。为提高舒适度所采取的措施主要有：

(1) 采用微机控制的电气指令制动系统可实现制动过程的优化控制，并在提高平均减速度的同时尽量减少减速度的变化率。

(2) 减少列车中不同车辆制动力的差别，以缓和车辆之间的纵向冲击力。

(3) 防滑装置还可避免因轮轨间黏着力不足而产生车轮踏面擦伤，继而防止列车运行平稳性恶化，提高乘坐舒适性，以及避免对车轴等部件产生附加应力的问题。

## (四) 可靠性高

(1) 采用“故障导向安全”(fail-safe)机构，以便在制动系统发生故障时，能向安全方向动作，如高速动车组一般设有空气制动、微机控制的电空制动和计算机网络三种制动控制方式。在正常运行情况下，由计算机网络控制并传递全列车各个车辆的制动信息。当该控制系统发生故障时，能自动转为电空制动作用。在电气故障或电空制动故障时，能依靠纯空气制动来保证不良状态下的制动距离。

此外，在高速动车组微机控制的制动控制过程中需要有大量的信息输入、数字运算和输出指令，为防止故障，在该指令系统的设计中也考虑了相应的可靠性措施。

(2) 制动能力冗余设计。在正常条件下，复合制动系统的各种制动方式应合理分担制动能量，一旦其中的某种制动方式发生故障，备用电路、备用BCU、备用制动等应能提供补充。而且，对于空气制动，应充分考虑失电情况下系统响应时间延长和盘形制动摩擦系数下偏差对制动距离延长的影响。

(3) 进行“防止误操作”(fool-proof)设计，使得非熟练操作者也能可靠地实施制动系统的功能。