

CRH 动车组系列教材

# 动车组 制动系统

DONGCHEZU  
ZHIDONG XITONG

主编 李益民 张维



西南交通大学出版社  
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

CRH 动车组系列教材

# 动车组制动系统

主 编 李益民 张 维

主 审 朱立海

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

-----  
**图书在版编目 ( C I P ) 数据**

动车组制动系统 /李益民, 张维主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2008.12  
(CRH 动车组系列教材)  
ISBN 978-7-5643-0162-0

I. 动… II. ①李…②张… III. 高速列车—动车—制动装置—高等学校: 技术学校—教材 IV. U266

-----  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 211773 号  
-----

CRH 动车组系列教材

**动车组制动系统**

主编 李益民 张维

\*

责任编辑 黄淑文

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

\*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 8

字数: 195 千字 印数: 1—3 000 册

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

**ISBN 978-7-5643-0162-0**

定价: 18.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# “CRH 动车组系列教材”

## 编 委 会

主 任：李晓村

委 员：（以姓氏笔画为序）

邓木生 王连森 王建立 华 平

何成才 张中央 张 龙 张 维

李益民 李瑞荣 连苏宁 陶若冰

谢家的 董黎生

# 序

我国铁路自 2007 年 4 月 18 日进行第六次大提速,并在国内首次开行时速 200 km 动车组以来,统称为“和谐号”的 CRH 系列动车组即成为我国铁路迈入高速铁路俱乐部的象征。在“十一五”期间,我国将建设铁路新线 17 000 km,总投资达 2 万亿元。根据新调整的国家中长期铁路网规划,到 2020 年,全国铁路营运里程将达到 120 000 km,将建成“四纵四横”铁路快速客运通道以及经济发达和人口稠密地区城际客运系统。这又将为 CRH 系列动车组提供进一步施展的舞台。

但目前 CRH 系列动车组的运用、检修专业人员的培养尚不能适应我国铁路发展的现状与趋势;铁路职业教育也迫切需要一套与 CRH 动车组专业联系紧密的教材,以实现有针对性的教学,为国家早日培养出铁路行业专门人才。由此,全国铁路高职、中专机车专业教学指导委员会以及其后的中国职业技术教育学会轨道交通专业委员会,会同相关院校,在西南交通大学出版社的大力支持与配合下,于 2007 年 5 月在武汉会议上组建了以李晓村为主任、何成才等为委员的“CRH 动车组系列教材”编委会。会议经分析、讨论,确定了动车组核心专业课程的设置和课时分配。之后又于 2007 年 11 月在成都会议上审定了各核心专业课程的编写大纲,最终确定了《动车组构造》、《动车组牵引与控制系统》、《动车组辅助设备》、《动车组电机与电器》、《动车组网络技术》、《动车组制动系统》、《动车组操纵与安全》、《动车组行车与规章》、《动车组维护与检修》等九种书为第一批 CRH 动车组系列教材。

本系列教材由全国铁路高职、中专机车专业教学指导委员会副主任李晓村担任总主编,特邀西南交通大学李芾教授担任总主审;由一批资深的行业专家担任各教材主编暨教材编委会委员,由路内外有关专家担任各教材主审。在实行第一主编负责制的前提下,编写人员本着对铁路发展负责任的态度,认真进行专业调查,收集相关资料,团结协作,确保了编写内容的准确性、适用性和及时性。

本系列教材适用于高职和中专铁道机车车辆专业动车组方向或相关专业的教学用书,也适用于动车组运用、检修人员的学习培训用书,以及相关专业技术管理人员的参考用书。

由于 CRH 系列动车组在我国运用的时间还不长,各型号动车组之间的结构原理

存有显著差别（本系列教材中暂定以 CRH2 型动车组为主讲车型），部分技术资料欠缺，加上编写时间又十分仓促，本系列教材难免存在一些不足。但随着 CRH 系列动车组技术的日臻成熟，运用经验的积累与丰富，编写者理解水平的不断提高，我们会适时对其进行修订、补充，使之完善、提高。我们真诚希望各位专家、专业技术人员和教材使用者能积极提出宝贵意见，让本系列教材在积极发挥作用的同时，得到进一步的提炼。

本系列教材在筹划编写过程中，得到了铁道部劳动和卫生司的大力支持和帮助；西南交通大学的李芾教授、付茂海教授等也对其给予了极大的关注，提出了不少指导性意见；同样，许多一线铁路专业技术人员也为我们提出了具体的意见和建议。此外，西南交通大学出版社的领导和工作人员为本书的出版付出了辛劳，并提供了极大的帮助。在此，我们一并表示衷心感谢。

**CRH 动车组系列教材编委会**

**2009 年 1 月**

# 前言

近年来,随着铁路大面积的提速和时速超过 200 km 的动车组的开行,中国铁路进入了高速发展阶段,这给铁路机务、车辆、运输指挥、控制管理和技术都带来了深层次的变革。

动车组的制动系统与传统列车有很大的不同。本书就是为了适应上述情况而对动车组制动装置的组成、功能和特点进行系统介绍。本书共分八章,主要内容包括制动的基本概念、制动机分类、动车组制动系统控制装置、动车组滑行控制装置、动车组电气制动、动车组摩擦制动及装置和国产动车组(CRH2 和 CRH5 动车组)制动系统的组成、工作原理及特点,还简要介绍了动车组制动系统试验与常见故障处理以及新制动技术。

本书由西安铁路职业技术学院李益民和吉林铁道职业技术学院张维主编(李益民编写第一章,第三章的第二节~第四节、小结、复习思考题,第四章和第六章;张维编写第二章和第三章第一节),西安铁路职业技术学院雷晓娟副主编(编写第八章)。参加编写工作的还有南京铁道职业技术学院王学忠(编写第五章),郑州铁路职业技术学院程迪(编写第七章)。全书由李益民统稿,全书由西安铁路局西安机务段朱立海高工主审。

本书在编写过程中参阅了大量参考文献,得到了有关同志的大力帮助,在此谨向文献的原作者、出版社及关心支持本书出版的同志一并表示谢意。

本书可作为五年制高职、三年制高职及成人教育的铁道机车车辆、城市轨道交通车辆等专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

由于编者学识和水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2008年9月

# 目 录

<b>第一章 绪 论</b> .....	1
第一节 制动的相关概念.....	1
第二节 制动机分类.....	7
第三节 制动波及制动时列车纵向动作用力.....	8
第四节 黏 着.....	11
第五节 动车组制动系统的组成和特点.....	14
小 结.....	16
复习思考题.....	18
<b>第二章 制动系统控制装置</b> .....	19
第一节 概 述.....	19
第二节 制动系统的结构.....	20
第三节 制动系统的工作原理.....	25
第三节 制动控制器与制动指令.....	28
第四节 速度控制.....	29
第五节 空气压力制动.....	30
第六节 制动控制系统控制电路.....	30
小 结.....	34
复习思考题.....	35
<b>第三章 滑行控制装置</b> .....	36
第一节 滑行和踏面擦伤的产生.....	36
第二节 防滑器.....	37
第三节 滑行检测.....	41
第四节 防滑控制装置的效果.....	43
小 结.....	44
复习思考题.....	44
<b>第四章 电气制动</b> .....	45
第一节 电气制动的种类.....	45
第二节 牵引电动机.....	48
第三节 电气制动的未来.....	54
小 结.....	54



复习思考题	55
<b>第五章 摩擦制动</b>	<b>56</b>
第一节 摩擦力的产生	56
第二节 基础制动装置	57
第三节 制动盘	59
第四节 闸瓦(闸片)	62
第五节 制动特性	64
小 结	66
复习思考题	67
<b>第六章 CRH2 和 CRH5 动车组制动系统</b>	<b>68</b>
第一节 CRH2 动车组制动系统概述	68
第二节 CRH2 动车组电制动系统	70
第三节 CRH2 动车组空气制动系统	71
第四节 CRH2 动车组防滑装置	81
第五节 CRH2 动车组制动控制系统	82
第六节 CRH5 动车组制动系统概述	89
第七节 CRH5 动车组电制动系统	91
第八节 CRH5 动车组空气制动系统	92
第九节 CRH5 动车组防滑装置	96
第十节 CRH5 动车组制动控制系统	97
小 结	99
复习思考题	100
<b>第七章 动车组制动系统试验与常见故障处理</b>	<b>102</b>
第一节 动车组制动系统有关试验	102
第二节 动车组制动系统常见故障及处理	107
小 结	109
复习思考题	110
<b>第八章 新制动技术的开发与研究</b>	<b>111</b>
第一节 最近的技术开发	111
第二节 增黏研究	111
第三节 黏着力的有效利用	112
第四节 轻量化研究	114
第五节 非黏制动的应用	115
小 结	115
复习思考题	116
<b>参考文献</b>	<b>118</b>

# 第一章 绪 论

本章主要介绍制动基本概念，制动方式的分类，制动作用的种类，制动机分类，制动波及制动时列车纵向作用力，黏着，动车组制动系统的组成和特点。

## 第一节 制动的相关概念

### 一、基本概念

人为地制止列车运动，包括使其减速、阻止其运动或加速，均可称为制动。反之，对已施行制动的列车，解除或减弱其制动作用，均称为缓解。为了使列车能施行制动和缓解而安装在列车上的一整套设备，总称为制动装置。

我国铁路广泛使用的空气制动装置从结构上可分为制动机和基础制动装置两个组成部分。制动机是产生制动原动力并进行操纵和控制的部分，如盘形制动装置中的制动缸、分配阀等；基础制动装置是传送制动原动力并产生制动力的部分，如盘形制动装置中的制动夹钳。在动车组所使用的制动装置中，有的已不存在制动机和基础制动装置的区分（如电制动的情况）。

由制动装置产生的与列车运行方向相反的外力称为制动力，它是人为的阻力，比列车运行中由于各种原因自然产生的阻力要大得多。所以，尽管在制动过程中列车运行阻力也起作用，但起主要作用的还是列车制动力。

从列车施行制动作用开始，到其完全停住所驶过的距离称为制动距离。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。有时也采用制动（平均）减速度作为评价指标，两者的实质是一样的；但制动距离比较具体，制动减速度则较为抽象。两者的关系可用下式表示：

$$\left(\frac{v \times 1000}{60 \times 60}\right)^2 = 2 \cdot a \cdot s$$
$$a = \frac{v^2}{2 \times 3.6^2 \times s} \quad \text{或} \quad s = \frac{v^2}{2 \times 3.6^2 \times a}$$

式中  $v$ ——施行制动时的列车初速度，简称“制动初速”，单位为 km/h；

$s$ ——制动距离，单位为 m；

$a$ ——列车在制动距离内的平均减速度，单位为  $\text{m/s}^2$ 。

为确保行车安全，世界各国都要根据本国铁路的情况（主要是列车速度、信号和制动技术等）制订出自己的制动距离标准（紧急情况下制动距离的最大允许值，又称计算制动距离），有时也给出制动减速度标准。我国《铁路技术管理规程》（以下简称《技规》）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。对于国产速度为 200 km/h 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，规定紧急制动距离为 2 000 m。

## 二、制动对动车组的意义

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 1.1 表示列车从甲站出发，经启动、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 开始减速进站。如果制动能力不足，则必须从 A' 就开始制动，从而延长了制动距离，影响了行车效率；若想在原来的减速距离内停车，则列车运行的速度在启动阶段只能提升至 A' 点的水平。从能量的角度来看，列车的制动能量和速度的平方成正比关系，时速 200~300 km 动车组的制动能量是普通列车的 4~9 倍，可见，能量强大的制动装置对于保证动车组的高速、安全运行有着至关重要的意义。

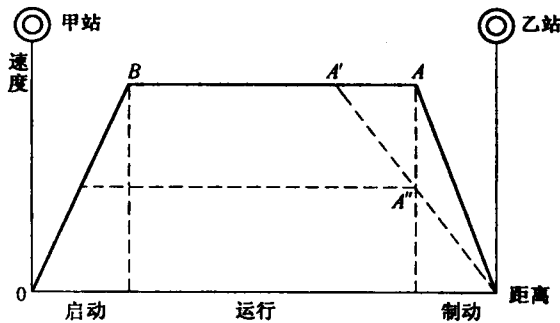


图 1.1 列车制动能力对速度的影响

## 三、制动方式的分类

制动方式有多种分类标准，本书主要介绍以下三种。

### (一) 按动能的转移方式分

列车制动过程中动能的转移方式包含两层含义：一是“转”的方式，即将列车动能转化为何种其他形式的能量；二是“移”，即如何将转化出的其他形式的能量消耗掉。以闸瓦制动为例，“转”就是将列车动能通过闸瓦与车轮踏面的摩擦转化为热能，“移”就是将动能转化成的热能耗散于大气。按动能的转移方式，动车组所采用的制动方式主要有以下几种：

#### 1. 盘形制动

盘形制动是在车轴或车轮辐板侧面安装制动盘，制动时用制动夹钳使两个闸片紧压制动盘侧面，通过摩擦产生制动力，将列车动能转变成热能消散于大气，如图 1.2 所示。

与闸瓦制动相比，盘形制动有下列主要优点：

- ① 可大大减轻车轮踏面的热负荷和机械磨耗。
- ② 可按制动要求选择最佳“摩擦副”。
- ③ 制动平稳，几乎没有噪声。

因此，与闸瓦制动相比，盘形制动更适用于高速动车组。

## 2. 电阻制动

电阻制动曾在动车组上大量应用。它是在制动时将原来驱动轮对的自励牵引电动机变为他励发电机，由轮对带动发电，并将电流通往专门设置的电阻器，采用强迫通风使热量消散于大气，从而产生制动作用。

## 3. 再生制动

与电阻制动相似，再生制动也是将牵引电动机变为发电机。不同的是，它将电能反馈回电网，使本来由电能变成的列车动能再生为电能，而不是变成热能消散掉。

显然，再生制动比电阻制动更加经济。因此，20世纪90年代后，再生制动在各国的动车组上获得了广泛应用。

## 4. 磁轨制动

磁轨制动是在转向架两个侧架下面同侧的两个车轮之间各安装一个电磁铁，制动时将它们放下并利用电磁吸力紧压钢轨，通过电磁铁上的磨损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消散于大气，如图1.3所示。

磁轨制动的制动力不是通过轮轨黏着产生，自然不受轮轨间黏着力限制，因而能在黏着力以外再获得一份制动力。与其他制动方式配合，可共同产生较高的制动力；在紧急制动时使用，可满足高速动车组对制动距离的要求。

## 5. 轨道涡流制动

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到离轨面几毫米处，而不与钢轨接触。它利用电磁铁和钢轨相对运动产生的电磁吸力作为制动力。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，再转换为热能消散于大气。

## 6. 旋转涡流制动

旋转涡流制动是在车轴上装有金属盘，制动时金属盘在电磁铁形成的磁场中旋转，盘的表面感应出涡流并产生电磁吸力，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。

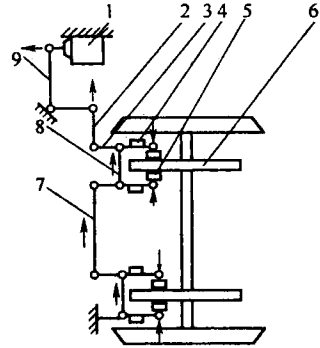


图 1.2 盘形制动装置

- 1—制动缸；2—拉杆；3—水平杠杆；4—缓解弹簧；
- 5—制动闸片；6—制动盘；7—中间拉杆；
- 8—水平杠杆拉杆；9—转臂

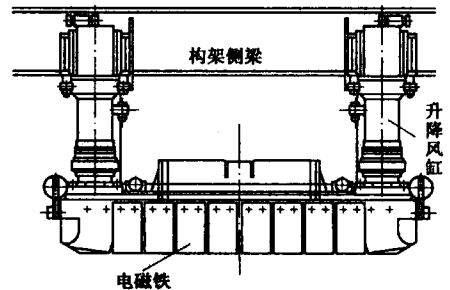


图 1.3 磁轨制动装置

## 7. 翼板制动

翼板制动尚处于试验之中，是一种从车体上伸出翼板来增加空气阻力的制动方式。若翼板的位置适当，动车组运行时的空气阻力可增加3~4倍。

### (二) 按制动力的形成方式分

按照制动力的形成方式不同，制动方式又可分为黏着制动和非黏着制动。前者是通过轮轨间的黏着作用产生制动力，且制动力的最大值受黏着力限制；一旦轮轨间的作用力超过了轮轨黏着的限制，就会打滑。而非黏着制动方式则无需通过轮轨黏着产生制动力，其制动力的大小不受黏着力限制。

在各国高速动车组所采用的制动方式当中，除磁轨制动和轨道涡流制动外，其他方式一般说来都属于黏着制动。

### (三) 按制动力的操纵控制方式分

按制动力的操纵控制方式，动车组所采用的制动方式可分为空气制动、电空制动和电制动三类。

#### 1. 空气制动

空气制动可分为直通空气制动和自动空气制动两种，自动空气制动又可根据所采用的三通阀（或分配阀、控制阀）的作用原理的不同，区分为具有二压力机构阀、三压力机构阀和二、三压力混合机构阀的制动机（它们分别简称为二压力制动机、三压力制动机和二、三压力制动机）。

直通式空气制动是较早出现的空气制动方式，直通式空气制动机的结构如图1.4所示。空气压缩机（风泵）1产生压缩空气并送入总风缸2储存，通过将制动控制阀4置于不同的位置，可使总风缸内的压缩空气由制动管充入各车的制动缸，或将制动缸内的空气通过制动管由制动控制阀排向大气，以实现全列车的制动、保压和缓解。

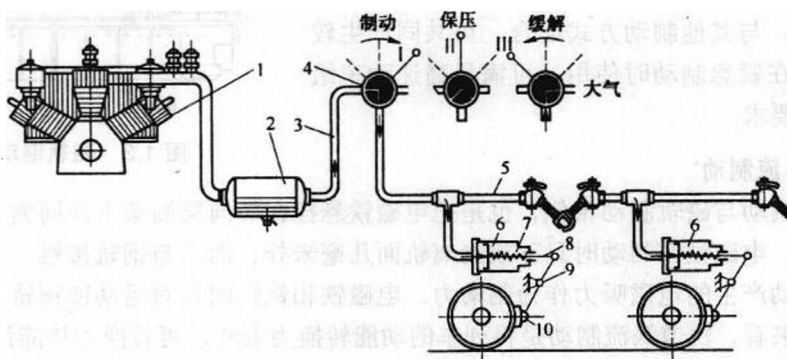


图 1.4 直通式空气制动机

- 1—空气压缩机（风泵）；2—总风缸；3—总风管；4—制动阀；5—制动管；6—制动缸；  
7—缓解弹簧；8—活塞杆；9—制动杠杆及其支点；10—闸瓦及瓦托

直通式空气制动机的特点是制动管直接通向制动缸，制动管增压制动，减压缓解。其优点是构造简单，且既有阶段制动，又有阶段缓解，操纵灵活方便。缺点是当列车发生分离事

故制动软管被拉断时，将彻底丧失制动能力；而且，列车前后部制动和缓解发生的时间差大，会造成较强的纵向冲击，不适于编组较长的列车。因此，列车的制动操纵后来就改用了自动式空气制动装置，如图 1.5 所示。

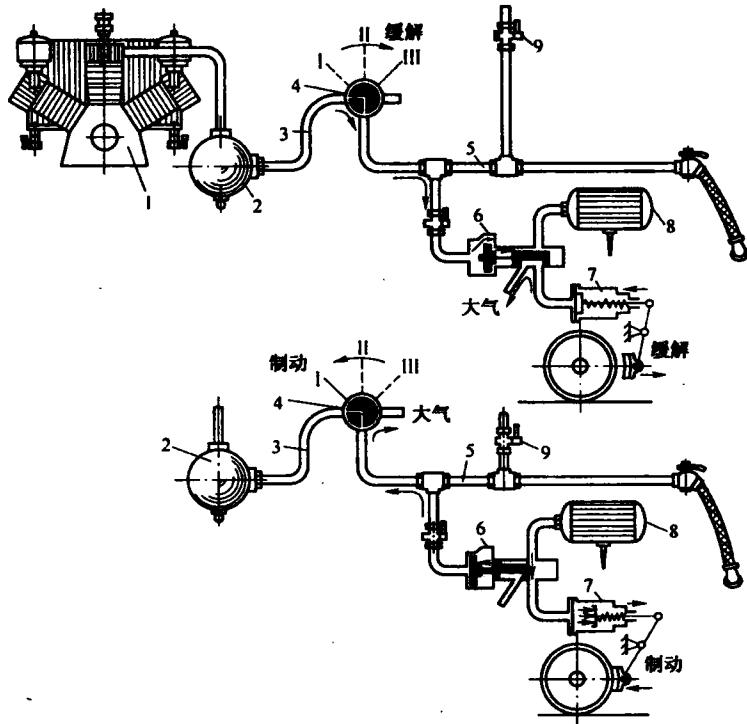


图 1.5 自动式空气制动机

1—空气压缩机；2—总风缸；3—总风缸管；4—制动阀；5—制动管；6—三通阀；  
7—制动缸；8—副风缸；9—紧急制动阀（车长阀）

与直通式空气制动机相比，自动式空气制动机在每辆车上多了三通阀 6（或称分配阀）和副风缸 8。制动阀 4 通过控制制动管 5 的增减压使三通阀动作，实现全列车的缓解和制动，即制动缸的压缩空气由三通阀排向大气（同时，制动管的压缩空气充入副风缸），以及副风缸内的压缩空气由三通阀充入制动缸。

自动式空气制动机的特点与直通式的恰好相反，它是制动管增压缓解，减压制动。其优点是当制动软管被拉断时，列车可自动地产生制动作用；且由于各制动缸都是由本车的副风缸供气，缓解时各制动缸的压缩空气也都是从本车的三通阀处排出，使得全列车制动和缓解的一致性较好，大大缓解了列车的纵向冲击。

在我国制造的时速 200 km 的动车组中，只有 CRH1 和 CRH5 动车组将自动式空气制动作为备用的制动方式，所有车型正常情况下的空气制动都采用直通方式。但需注意的是，动车组所使用的直通式空气制动机与前面介绍的最早出现的直通式空气制动机是有所不同的，其功能和结构详见后续章节。

## 2. 电空制动

电空制动是电控空气制动的简称，它是在空气制动机的基础上，每辆车加装电磁阀等电

气控制部件而形成的。电空制动的特点是制动作用的操作控制用电，制动作用的原动力还是压缩空气；当制动机的电控失灵时，仍可实行空气压强控制，临时变成空气制动机。

电空制动机通过电气指令控制每辆车电磁阀的开闭，来控制制动管的充/排风（增/减压），进而使三通阀动作，实现全列车的制动和缓解。因此，与空气制动机相比，它大大改善了列车前后制动和缓解的一致性，从而显著减轻了列车的纵向冲击，缩短了制动距离。电空制动本质上也是空气制动。

### 3. 电制动

操纵控制和原动力都用电的制动方式称为电磁制动，简称电制动。前面讲到的电阻制动和再生制动都属于电制动。电制动具有能够提供强大的制动力和其他诸多优点，已成为各种型号的高速动车组的主要制动方式。

## 四、制动作用的种类

动车组的制动作用按用途可分为如下四大类：

### （一）常用制动

常用制动是正常情况下为调节、控制列车速度或进站停车所施行的制动。其特点是作用比较缓和，且制动力可以调节，通常只用列车制动能力的 20%~80%，多数情况下只用 50% 左右。

### （二）非常制动

非常制动是紧急情况下为使列车尽快停住而实施的制动。其特点是把列车制动能力全部用上，且作用迅猛，制动力为最大常用制动力的 1.4~1.5 倍。非常制动有时也称快速制动。

### （三）紧急制动

紧急制动也是在紧急情况下产生作用的制动方式，特点与非常制动类似。它与非常制动的区别在于：非常制动一般为电、空联合制动，也可以是空气制动；而紧急制动则只有空气制动作用。

### （四）辅助制动

辅助制动又包括备用制动、救援/回送制动、停放制动和保持制动等。

#### 1. 备用制动

当运营中的动车组的电子制动控制装置或常用制动电路发生故障，无法实施正常的制动控制时，可启用备用制动设备进行制动。备用制动设备有两种控制方式：一种是利用备用制动指令线传递备用制动控制装置发出的电气制动指令，直接控制各车的电空转换阀产生制动作用；另一种则是启用动车组内备用的自动空气制动装置进行制动，即通过制动管的增减压来控制全列车的制动和缓解。

## 2. 救援/回送制动

救援/回送制动是通过救援机车的制动管来控制动车组的制动作用。当救援机车制动管的增减压信号传递至动车组时，又可采取两种控制方式：一种是将机车制动管与动车组制动管直接相连，由救援机车控制动车组制动管内的压强；另一种则是在救援机车和动车组之间加装一个空电转换装置（制动指令转换器），由它将机车制动管内的空气压力信号转换为电气指令信号来控制动车组的电空转换阀，实现各车的制动和缓解，如图 1.6 所示。

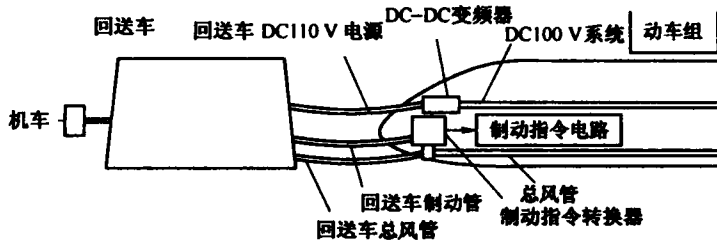


图 1.6 动车组的回送连挂示意图

## 3. 停放制动

停放制动是为使动车组能够存放在一定坡度的坡道上不溜车而施行的制动作用。停放制动可利用专门的弹簧停放装置使机械制动装置动作，也可将铁鞋放入车轮踏面下面阻止列车运动。停放制动有时也称为驻车制动。

## 4. 保持制动

保持制动是常用制动的一项辅助功能，当列车速度降至接近停车时，自动减小列车的制动力以平稳停车；待列车停止后，再将制动力升高并保持一定的水平，以避免列车在坡道上溜逸。

# 五、制动模式

高速运行的动车组具有轮轨间黏着力随速度的提高而降低的特性。为了得到与黏着特性相适应的制动力，动车组采用了根据速度的大小而使用不同减速度（制动力）的制动模式。

## 第二节 制动机分类

制动机按其用途可分为机车制动机、客车制动机、货车制动机、城市轨道（交通）车辆制动机和高速列车制动机。

制动机按其操纵方法和动力来源又可分为手制动机、空气制动机、真空制动机和电空制动机。

### 一、手制动机

用人力转动手轮或用杠杆拨动的方法，使闸瓦压紧车轮踏面或使闸片压紧制动盘，从而达到制动目的的装置，称为手制动机。现在我国机车车辆上都装有手制动机，它只是在空气



制动机发生故障以及在调车作业或在就地停放时使用。

## 二、真空制动机

真空制动机用大气压作为动力来源，用对空气抽空程度（真空度）的变化来操纵制动机的制动和缓解作用。这种制动机的制动执行部件的最高压力只能达到一个大气压，所以制动力受到限制，性能没有空气制动机好。我国除一部分出口机车车辆安装这种制动机外，国内均不采用。

## 三、空气制动机

用压力空气作为制动的动力来源，并用压力空气的压力变化来操纵制动机的制动和缓解作用的，称为空气制动机。空气制动机是目前各国采用最为广泛的制动机。我国机车车辆上都装有空气制动机。

## 四、电空制动机

电空制动机仍用压力空气作为制动的动力来源，但它用电来操纵制动装置的制动、保压和缓解等作用。最简单的电空制动机是在空气制动机的基础上加装电磁阀等电气控制部件，用电来操纵制动机的作用。与空气制动机相比，其最大优点是全列车能迅速发生制动或缓解作用，列车前、后的动作一致性比较好。

# 第三节 制动波及制动时列车纵向动作用力

## 一、空气波与空气波速

在自动空气制动机中，当司机将制动阀手柄扳至制动位时，靠近制动阀的制动管中的压力空气首先通过制动阀排气口排入大气，制动管开始减压，这个减压作用沿着制动管以一定的速度逐渐向后传播，一直传到最后一辆车的制动管尾端封闭处，制动管减压作用沿列车由前向后的传播称为“空气波”。它的传播速度称为“空气波速”，其数值等于将制动阀手柄移到制动位的瞬时开始到列车最后一辆车的制动管尾部发生减压作用为止所经过的时间（s）去除制动管的全长（m），也即单位时间内的传播长度。

空气波速一般为 330 m/s 左右。显然空气波速实际上是自动制动机的指令传递速度。空气波速越高，则列车中各车辆制动作用的一致性（同步性）越好。

## 二、制动管减压速度

空气波传到列车中任一分配阀后，该阀主活塞外侧（制动管一侧）即开始减压。但是，