

高等职业教育交流传动电力机车规划教材

交流电力机车制动系统

李益民 马金法 黄志高 主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是铁路高职高专规划教材。全书共分八个项目，主要介绍了HXD₁、HXD₂和HXD₃型交流电力机车风源系统、DK-2型制动系统、CCB-II型制动系统、法维莱Eurotrol制动系统、基础制动装置、停放制动装置、制动系统试验及常见故障判断与处理等知识。

本书为高职高专铁道机车专业教材，也可供中等职业学校及其他专业学校（院）电力机车或相近专业学生、电力机车检修工厂和机务段检修人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

交流电力机车制动系统 / 李益民，马金法，黄志高
主编. —成都：西南交通大学出版社，2014.8
高等职业教育交流传动电力机车规划教材
ISBN 978-7-5643-3365-2

I. ①交… II. ①李… ②马… ③黄… III. ①交流电
力机车—车辆制动—高等教育—教材 IV.
①U264.2

中国版本图书馆CIP数据核字（2014）第198314号

高等职业教育交流传动电力机车规划教材

交流电力机车制动系统

李益民 马金法 黄志高 主编

*

责任编辑 金雪岩

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市金牛区交大路146号 邮政编码：610031

发行部电话：028-87600564

<http://www.xnjdcbs.com>

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：19

字数：473千字

2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-3365-2

定价：39.50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

前 言

本书是普通高等教育铁路系统规划教材。本书系统地介绍了HXD₁、HXD₂和HXD₃型交流电力机车风源系统、DK-2型制动系统、CCB-II型制动系统、法维莱Eurotrol制动系统、基础制动装置、停放制动装置、制动系统试验及常见故障判断与处理等知识。

教材的教学目标是培养具有扎实理论知识，具有较强分析、解决问题能力和操作技能的交流电力机车制动系统应用型人才。全书共计七个项目，其内容有：机车制动系统概述、交流电力机车风源系统、DK-2型制动系统、CCB-II型制动系统、法维莱Eurotrol制动系统、基础制动装置与停放制动装置、制动系统试验及常见故障判断与处理。

在编写过程中，我们查阅了大量的参考资料，多次到铁路机车运用和检修现场调研，多次进行专题交流与研讨。在内容的编排上，注意实用性，理论与实践相结合，突出分析、解决问题和实作能力的培养；在内容的组织上，注意逻辑性、系统性和层次分明；在文字表述上，注意准确、精炼、通俗易懂。本教材采用项目任务制编写方法，每个任务都有知识要点，便于指导学生掌握学习重点；每个任务附有实践与训练，供学生巩固所学的知识 and 技能。

本书由西安铁路职业技术学院李益民教授、郑州铁路职业技术学院马金法副教授和武汉铁路职业技术学院黄志高讲师任主编，山东职业技术学院吴风丽副教授任副主编，西安铁路局机务处工程师范秀忠和高级工程师朱立海任主审。全书由西安铁路职业技术学院李益民教授负责统稿完成，参加编写的还有西安铁路局安康机务段党逸工程师、黑龙江交通职业技术学院潘京涛副教授、武汉铁路职业技术学院王慧霞讲师、南京铁道职业技术学院施璐助教、西安铁路职业技术学院张省伟讲师。教材编写具体分工如下：李益民编写项目一（任务一至六）、项目二（任务三、四）、项目三、项目七（任务一）；马金法编写项目五、项目七（任务二、五）；黄志高编写项目六和附录一；吴风丽编写项目二（任务一、二）；党逸编写项目七（任务三、四）；潘京涛编写项目四（任务一至四）；施璐编写项目四（任务五、六）；张省伟编写项目一（任务七）和附录二。

在编写过程中，得到了全国机车专业高职高专教学指导委员会的大力支持，还得到了西安铁路局安康机务段党逸工程师、西安机务段屈忠印工程师等个人的大力帮助，在此一并致谢。

由于编者水平有限，教材中难免有缺陷和不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

二〇一四年四月

目 录

项目一	制动系统概述	1
任务一	制动系统的重要意义	1
任务二	制动机的发展简史	5
任务三	制动方式的分类和制动机的分类	8
任务四	空气制动机的基本作用原理	15
任务五	常用名词术语	19
任务六	制动缸压力的计算以及制动管最小有效减压量、最大有效减压量的确定	22
任务七	空气波、制动波以及列车制动时的纵向动力作用	28
项目二	交流电力机车风源系统	35
任务一	概 述	35
任务二	HXD1 型电力机车主风源系统和辅助风源系统	36
任务三	HXD2 型电力机车主风源系统和辅助风源系统	49
任务四	HXD3 型电力机车主风源系统和辅助风源系统	52
项目三	DK-2 型机车制动系统	64
任务一	概 述	64
任务二	DK-2 型机车制动系统主要部件	67
任务三	DK-2 型机车制动系统的综合作用	84
任务四	DK-2 型机车制动系统运行模式设置	94
项目四	CCB?- II 型机车制动系统	100
任务一	概 述	100
任务二	CCB- II 型机车制动系统主要部件的构造及作用	107
任务三	CCB- II 型机车制动系统基本设置	127
任务四	CCB- II 型制动系统控制关系与气路综合作用	136
任务五	系统主要部件的备份及故障检测方式	152
任务六	控制与辅助管路系统	155
项目五	法维莱 Eurotrol 制动系统	159
任务一	法维莱 Eurotrol 制动机的组成	159
任务二	法维莱 Eurotrol 制动机司机制动控制器和制动显示屏	162
任务三	法维莱 Eurotrol 制动机司机制动阀和作用阀模块	165
任务四	法维莱 Eurotrol 制动机 EPM 模块和分配阀	169
任务五	法维莱 Eurotrol 制动机中继阀和停放制动模块	176
任务六	法维莱 Eurotrol 制动机隔离模块、流量计和制动控制单元 BCU	184

任务七	法维莱 Eurotrol 制动机综合作用分析	194
项目六	基础制动装置与停放制动装置	197
任务一	HXD1、HXD2 型电力机车基础制动装置与停放制动装置	197
任务二	HXD3 型交流电力机车基础制动装置与停放制动装置	205
任务三	防滑器	210
任务四	制动倍率、传动效率和制动率	218
任务五	制动力分析	222
项目七	制动系统试验及常见故障判断与处理	232
任务一	DK-2 型电空制动机和 CCB?-II 型制动系统操作规程与试验	232
任务二	法维莱 Eurotrol 制动机检查试验	242
任务三	DK-2 型机车制动系统常见故障判断与处理	244
任务四	CCB?-II 型制动系统常见故障判断与处理	251
任务五	法维莱 Eurotrol 制动机故障处理	272
附录一	HXD 机车缩写和首字母缩写	275
附录二	《电力机车制动系统》课程实验	281
实验一	风源系统压力调整试验	281
实验二	DK-1 型电空制动机认识实验	282
实验三	DK-1 型电空制动机综合作用实验	284
实验四	DK-1 型电空制动机试验验收	286
实验五	DK-2 型电空制动系统的认识实验、运行模式设置和综合作用试验	289
实验六	HXD3 型电力机车 CCB?-II 型制动系统检查及试验	291
实验七	HXD1C 型机车法维莱制动机试验	295
参考文献		297

项目一

制动系统概述

任务一 制动系统的重要意义

【知识要点】

1. 熟知制动、缓解的含义；
2. 熟知制动作用的种类；
3. 熟知制动能力的含义；
4. 熟知制动系统在列车运行中的重要意义。

【任务实施】

人为地使运动物体减速或阻止其加速称为制动。为了使运行中的列车能迅速地减速或停车，必须对它实施制动；为了防止列车在下坡道时由于列车的重力作用导致列车速度增加，也需要对它实施制动；即使列车已经停车，为避免停放的列车因重力作用或风力吹动而溜车，还需要对它实施制动（又称为停放制动）。反之，对已经实施了制动的列车，解除或减弱其制动作用，这种做法称为缓解。

一、概 述

为了能实施制动或缓解制动，需要在列车上安装由一整套零部件组成的一个完整的制动装置，该装置总称为“列车制动装置”。在铁路上，它可以分为动力集中型列车制动装置和动力分散型列车制动装置。对于动力分散型列车而言，列车制动装置分为动车制动装置和拖车制动装置；对于动力集中型列车而言，列车制动装置分为机车制动装置和车辆（客车、货车）制动装置。无论机车、客车、货车还是动车、拖车，各种车都有它自己的制动装置，起着制动和缓解的作用。只有机车不同，机车还具有操纵全列车制动系统的功能。动车组列车和城市轨道车辆也有操纵全列车制动系统的设备，该设备一般安装在列车两端带有司机室的头车上，头车既可以是拖车也可以是动车。

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”。这是人为的阻力，它

比列车在运行中由于各种自然原因产生的阻力要大得多。因此，尽管在列车制动减速的过程中，列车运行阻力（自然阻力）也在起作用，但起主要作用的还是列车制动力（人为阻力）。

一套列车制动装置至少包括两个部分，即制动控制部分和制动执行部分。制动控制部分由制动信号发生与传输装置以及制动控制装置组成；制动执行部分通常称为基础制动装置，包括闸瓦制动与盘形制动等不同方式。

过去由于列车上安装的制动装置比较简单、直观，而且用压缩空气传递制动信号，因此我们称其为一套列车制动装置。但是随着轨道交通技术的发展，制动装置中越来越多地采用了电气信号和电气驱动设备。微机和电子设备的出现使制动装置变得无触点化和集成化，并且使制动控制功能融入了其他电路而不能独立划分。因此，我们只能按现代方法将具有制动功能的电子线路、电气线路和气动控制部分归结为一个系统，统称为列车制动系统。

有效的制动装置，又称制动系统（简称制动机），是铁道机车车辆的重要组成部分。随着社会的发展和科学技术的进步，制动机由原始的手制动机、直通式空气制动机，发展到近代性能较完善的自动空气制动机、电空制动机等。与此同时，伴随着铁道牵引动力的革命，制动技术也得到飞跃发展，再生制动、电阻制动、加馈电阻制动和液力制动以其较强大制动力率、极好的高速性能以及很高的经济性得到较为广泛的应用。

二、制动作用的种类

1. 动力分散型列车

动力分散型列车包含动车组和城市轨道交通车辆，其制动在操纵上按用途可分为五种，即常用制动、紧急制动、快速制动、停放制动和保持制动。

常用制动是指在正常情况下为调节或控制列车速度，包括进站停车所实施的制动。它的特点是：作用比较缓和，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。

紧急制动是一种“非常制动”，是在紧急情况下为使列车尽可能快地停车而实施的一种制动。它的特点是：作用比较迅猛，而且要把列车全部制动能力都用上，且只有空气制动作用。

快速制动，也称非常制动，其产生的平均减速度基本上与紧急制动的相当（其他功能与常用制动功能基本相同），但是紧急制动在行车过程中是不可自动缓解的，必须停车后人工缓解，而快速制动在行车过程中是可以缓解的。快速制动一般为电空联合制动，也可以是纯空气制动作用。

停放制动，也称驻车制动，其采用弹簧制动、充气缓解的方式，能使列车停放在一定坡度的线路上不溜车，实现长时间停车。停放制动具有手动缓解的功能，以备在无总风情况下缓解停放制动。停放制动也可采取将铁鞋放入车轮踏面下面阻止列车运动的形式。

保持制动的主要作用是防止列车短时间停在坡道上时发生溜车。保持制动在常用制动模式下且列车速度低于 1 km/h 时触发，是常用制动的一种辅助功能。保持制动的制动力大小要保证列车停在最大坡度线路上时不会发生溜车。保持制动在列车牵引力大于保持制动力时缓解。

从司机实施制动（将司机控制手柄推至制动位）的瞬间起，到列车速度降为零的瞬间止，

列车在这段时间内所驶过的距离，称为列车“制动距离”。这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。有的国家不用制动距离而用（平均）减速度作为其主要技术指标，其实两者的实质是一样的，只是制动距离较为具体，而减速度较为抽象而已。

列车要启动和以一定速度运行，必须对其施加牵引。同样，为了使运行的列车能够迅速地减速、停车，必须对其施加制动。牵引和制动是确保列车安全运行所必需的功能，二者缺一不可。仅有牵引而没有制动的列车是不完善的，甚至是危险的。试想一下，如果一列车突然失去制动，紧急情况下无法停车时，乘客的生命财产安全将受到严重威胁，这是何等地危险。因此，从某种意义上来说，制动是一个比牵引更为重要的问题。

2. 动力集中型列车

前已述及对于动力集中型列车而言，列车制动装置分为机车制动装置和车辆（客车、货车）制动装置。目前，在我国电力机车上使用的机车制动装置包括 DK-1 型电空制动机、DK-2 型电空制动机和 CCB-II 型制动机（微机控制制动系统）。对于 DK-1 型电空制动机和 DK-2 型电空制动机而言，机车制动装置（或系统）的功能按用途可分为四种，即自动制动、单独制动、备用空气制动和停放制动。对于 CCB-II 型制动机而言，机车制动装置的功能按用途可分为五种，即自动制动、单独制动、紧急制动、备用空气制动和停放制动。下面以 CCB-II 型制动机为例进行简要说明。

CCB-II 型制动机自动制动功能靠自动制动阀（大闸）手柄在不同位置实现，自动制动阀（大闸）手柄在不同位置决定列车制动管不同的减压量。

单独制动功能靠单独制动阀（小闸）手柄在不同位置实现，单独制动阀（小闸）手柄在不同位置决定机车制动缸的压力。单独制动阀手柄还具有快速缓解功能。

紧急制动作用可以通过自动制动阀（大闸）手柄置紧急制动位实现，也可通过按压紧急制动按钮实现，同时列车断钩及惩罚制动（非司机主动操作引起的机车制动，如监控发出的制动命令及故障引起的制动等）也可引起紧急制动作用。

备用空气制动功能是靠备用空气制动阀（备用的制动阀）手柄置于制动位来实现，备用空气制动阀手柄在制动位停留时间的长短决定了列车制动管不同的减压量。备用空气制动的制动作用仅在电控制动失效后启用。在正常状态下，备用空气制动阀手柄被拆除并存放在指定的地方。

停放制动的功能是防止机车意外溜放。停放制动通过弹簧蓄能制动来实现。

三、制动能力

在设计过程中，列车的最高运行速度和牵引功率需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。列车的最高运行速度与牵引功率有关，但它更受到制动能力的限制。

列车的制动能力是指该列车的制动系统能使其在规定的安全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。一般来说，城市轨道交通系统都有明确的车辆运行规程，特别对列车制动能力有严格的要求和规定。例如，要求列车在紧急情况下的制动距离（紧急制动距离）不得超过某一规定值。

从能量转换的角度看，制动的实质就是将列车的动能从列车转移出去。制动系统单位时间内转移动能的能力就是制动功率。在一定的制动距离条件下，列车的制动功率是其速度的三次函数。

四、制动系统在列车运行中的重要意义

日常生活中，任何运输工具都离不开制动系统。小到自行车，大到航天飞机，制动系统都起着保证运输安全的重要作用。对于铁路运输来讲，列车的运行过程包括牵引、惰行和制动三个基本工况，而制动工况的顺利实施关键在于制动系统能有效、可靠地工作。

所谓制动是指能够人为地产生列车减速力并控制这个力的大小，从而控制列车减速或阻止它加速运行的过程。制动过程必须具备两个基本条件：

- (1) 实现能量转换；
- (2) 控制能量转换。

制动力是指制动过程中所形成的可以人为控制的列车减速力。而制动系统是指能够产生可控制的列车减速力，以实现和控制能量转换的装置或系统。制动系统由制动机、手制动机和基础制动装置三大部分组成。其控制关系（即工作流程）如图 1-1 所示：

无论是机车还是车辆，都具有各自的制动系统，即各自的制动机、手制动机和基础制动装置。当机车、车辆编组成列车后，其各自的制动系统相互联系而构成一个统一的制动系统——列车制动系统。因此，制动系统则有了机车制动系统、车辆制动系统和列车制动系统之分。

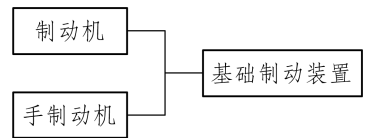


图 1-1 制动系统控制关系

由于制动系统的设置目的是使列车能够按照人的意志减速或准确停车，所以，制动系统性能的好坏，不仅影响着列车制动效果，而且影响着铁路运输生产。衡量制动系统性能的优劣，主要是衡量制动机性能的好坏，性能良好的制动机对铁路运输有以下几方面的促进作用：

- (1) 保证行车安全；
- (2) 充分发挥牵引力，增大列车牵引重量，提高列车运行速度；
- (3) 提高列车的区间通过能力。

【实践与训练】

学习工作单

工作单	制动系统的重要意义		
任 务	熟知制动、缓解的含义；熟知制动作用的种类；熟知制动能力的含义；熟知制动系统在列车运行中的重要意义。		
班 级		姓 名	
学习小组		工作时间	

续上表

【知识认知】	
1. 简述制动和缓解的定义； 2. 简述列车制动装置组成； 3. 简述动力分散型列车和动力集中型列车制动作用的种类； 4. 简述制动系统在列车运行中的重要意义。	
【能力训练】	
1. 试以动力分散型列车和动力集中型列车为例，分析其制动作用的种类。	
2. 试分析列车制动系统在列车运行中的重要意义。	
任务学习其他说明或建议：	
指导老师评语：	
任务完成人签字：	日期： 年 月 日
指导老师签字：	日期： 年 月 日

任务二 制动机的发展简史

【知识要点】

1. 熟知制动机的发展历史；
2. 熟知我国电力机车上广泛使用的制动机类型及特点。

【任务实施】

1825年9月27日，在英国的斯托克顿至达灵顿之间建成了世界上第一条铁路，于是世界上第一列由蒸汽机车牵引的列车开始运营。当时所使用的制动机是人力制动机，即手制动机。当运行中需要制动时，由设置在列车上的若干名制动员根据司机所给信号操纵每一节车上的手制动机来完成制动。可见，人力制动不仅使工作在较恶劣环境中的制动员的劳动强度增大，更主要的是大大降低了列车中各车辆制动的同步性，从而造成严重的制动冲击，影响列车制动效果。

1869年，美国工程师乔治·韦斯汀豪斯发明了世界上第一台空气制动机——直通式空气

制动机。直通式空气制动机属于气动装置，由司机单独操纵。与人力制动机相比，直通空气制动机大大提高了列车制动的同步性，减小了制动冲击，改善了列车的制动效果。但是，由于直通式空气制动机自身的工作机理，使其在运用过程中存在着致命的弱点——当列车分离时，列车将失去制动作用。

1872年，乔治·韦斯汀豪斯在直通式空气制动机的基础上，研制出了一种新型的空气制动机——自动式空气制动机。自动式空气制动机克服了直通式空气制动机的致命弱点，从而在铁路运输中得到了广泛的应用，甚至直到科技高度发展的今天，世界各国铁路列车所使用的空气制动机的工作原理均源于自动式空气制动机。

20世纪60年代，随着科学技术的发展，电空制动技术在铁路运输中广为应用，产生了电空制动机，从而改善了制动机的工作性能，为铁路运输提供了更为可靠的安全措施。

目前，在我国电力机车上使用的电空制动机有DK-1型电空制动机、DK-2型电空制动机、CCB-II型电空制动机（微机控制制动系统）和法维莱Eurotrol电空制动机。

DK-1型电空制动机广泛应用于国产SS系列电力机车上，其工作过程为自动式空气制动机的基本作用原理，即“制动管充风→制动机缓解，制动管排风→制动机制动”。DK-1型电空制动机性能稳定、工作可靠，而且可以方便地与列车安全运行监控记录装置的自动停车功能及机车动力制动系统等配合，为列车的自动控制创造了条件。DK-1型电空制动机在操纵上具有准、快、轻、静等特点；其结构简单，便于维修，采用非自动保压式原理，具有多重安全措施。

DK-2型机车电空制动机（部分应用于HXD₁型大功率电力机车上）采用微机模拟控制技术，能实现列车自动制动与机车单独制动、空气制动与电制动的混合（空电联合制动）、断钩保护、列车充风流量检测、无动力回送、制动重联、列车速度监控配合等制动基本功能。具备单机自检、故障诊断、数据记录与存储等智能化、信息化功能，具备MVB、CAN等网络通信接口，适应现代机车制动系统信息化以及网络控制的发展要求。DK-2型机车电空制动系统由中国南车集团株洲电力机车公司自主研制，自2012年5月开始，先后通过了原铁道部组织的专家评审、例行试验以及高温、低温和振动冲击等型式试验，其控制软件安全认证也被列为重点科研项目在同步推进。2012年7月26日DK-2型机车电空制动系统控制软件顺利通过国家工业与信息化部电子第五研究所（中国赛宝实验室）软件测评中心测评，获得功能安全认证标准符合性测评证书，获得软件安全认证，为DK-2型机车电空制动系统批量装车提供了第三方安全认证基础资质，同时也为中国自主机车制动产业进一步发展打下了基础。DK-2型制动系统现已批量装车应用。

HXD₁、HXD₃型大功率电力机车采用了先进的CCB-II型微机控制制动系统。该制动系统是基于网络的电空制动系统，它是按照美国铁路协会（AAR）标准，以26-L型制动机为基础设计的电空制动控制系统。该系统可以在干线客运和货运机车上使用，可以与我国现有的机车车辆制动系统进行匹配使用。CCB-II型电空制动机是基于微处理器和LON网络的电空制动控制系统，除了紧急制动作用由机械阀触发外，其他所有逻辑控制指令均由微处理器发出。CCB-II型电空制动机具有控制精度高、反应迅速、安全性较高、部件集成化程度高、可进行部件的线路更换、维护简单、有自我诊断、故障显示及处理方法提示功能等特点。

HXD₂型机车制动系统是在SAB WABCO微机控制电空制动机基础上为满足中国铁路的运营要求开发出来的，是符合UIC标准的新一代机车制动系统。该系统在正常工况时，通过

微机控制列车制动管和机车制动缸压力，实现列车的制动控制；在出现严重故障时，将机车制动系统转换到备用制动系统进行列车制动控制。Eurotrol 是制动机系统中的一个关键部件，也是HXD₂型机车制动系统有别于其他机车制动系统的标志性部件，因此，通常情况下，HXD₂型机车制动系统也被称作 Eurotrol 制动系统。由于该系统为法维莱公司技术，所以将HXD₂型机车采用的制动机称为法维莱 Eurotrol 制动机。

【实践与训练】

学习工作单

工作单	制动机的发展简史		
任 务	了解制动机的发展历史；了解我国电力机车上广泛使用的制动机类型及特点。		
班 级		姓 名	
学习小组		工 作 时 间	
【知识认知】			
<ol style="list-style-type: none"> 1. 简述手制动机、直通式空气制动机、自动式空气制动机、电空制动机的特点； 2. 简述我国电力机车上广泛使用的电空制动机类型。 			
【能力训练】			
<ol style="list-style-type: none"> 1. 分析制动机的发展历史，总结各发展阶段制动机的特点。 			
<ol style="list-style-type: none"> 2. 分析我国电力机车上广泛使用的各型电空制动机的特点和工作原理。 			
任务学习其他说明或建议：			
指导老师评语：			
任务完成人签字：		日期：	年 月 日
指导老师签字：		日期：	年 月 日

任务三 制动方式的分类和制动机的分类

【知识要点】

1. 熟知制动方式按列车动能转移方式的分类方法；
2. 熟知制动方式按制动力形成方式的分类方法；
3. 熟知制动方式按制动源动力的分类方法；
4. 熟知制动机按其用途的分类方法；
5. 熟知制动机按操纵方法和动力来源的分类方法。

【任务实施】

要改变运动物体的运动状态，必须对它施加外力。人为地使列车减速或阻止其加速的外力称为制动力。列车的制动力包括所有起制动作用的车辆制动力，它的大小主要由闸瓦压力、闸瓦摩擦系数、速度等确定。

一、制动方式的分类

制动方式可按制动时列车动能转移方式、制动力获取方式或制动源动力的不同进行分类。

（一）按列车动能转移方式分类

列车动能的转移方式可以分为两类：一是摩擦制动方式，即动能通过摩擦副的摩擦转变为热能，然后消散于大气；二是动力制动方式，即把动能通过发电机转化为电能，然后将电能从列车上转移出去。

常用的动力制动方式有再生制动和电阻制动。在制动过程中，再生制动、电阻制动和空气制动分别为第一优先级、第二优先级和第三优先级制动。

1. 摩擦制动

摩擦制动是指列车的动能通过摩擦转变为热能。常用的摩擦制动方式主要有闸瓦制动和盘形制动，在高速列车的制动系统中还有轨道电磁制动等方式。

（1）闸瓦制动。闸瓦制动又称踏面制动，是最常用的一种制动方式。在制动时，制动控制装置根据制动指令使制动缸内产生相应的压缩空气压力，该压力通过制动缸使制动缸活塞杆产生推力，经基础制动装置中的一系列杆件的传递、分配，使每块闸瓦都贴靠在车轮踏面上，并产生闸瓦压力。车轮与闸瓦之间相对滑动，产生摩擦力，最后在轮轨之间引起制动力。缓解时，制动控制装置将制动缸压力空气排向大气，制动缸活塞在制动缸缓解弹簧的作用下退回，通过各杆件带动闸瓦离开车轮踏面，如图 1-2 所示。

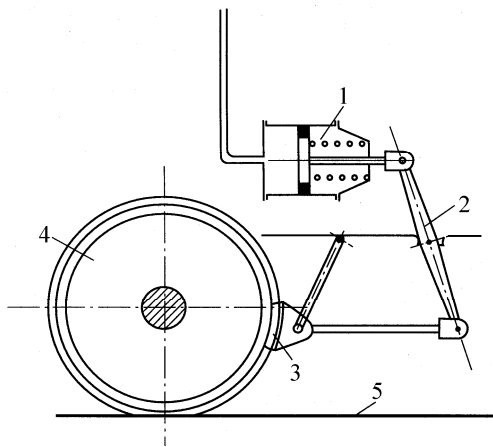


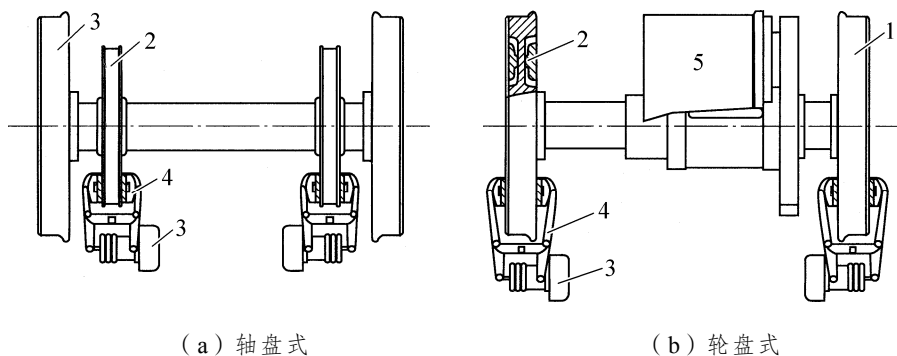
图 1-2 闸瓦制动示意图

1—制动缸；2—基础制动装置；3—闸瓦；4—车轮；5—钢轨

在闸瓦与车轮这一对摩擦副中，车轮由于主要承担着车辆走行功能，因此其材料不能随意改变。要改善闸瓦制动的性能，只能通过改变闸瓦材料的方法。早期的闸瓦材料主要是铸铁。为了改善摩擦性能和增加耐磨性，目前大多采用合成闸瓦，但合成闸瓦的导热性差，因此导热性能良好、且具有较好的摩擦性能和耐磨性的粉末冶金闸瓦得到越来越多的应用。

在闸瓦制动方式中，动能转化为热能的能力大，但热能消散于大气的的能力相对较小。当要求的制动功率较大时，有可能热能来不及散于大气，而在闸瓦与车轮踏面积聚，使它们的温度升高，严重时甚至会导致闸瓦熔化（铸铁闸瓦）或车轮踏面产生裂纹等。因此，在采用闸瓦制动时，对制动功率要有所限制。

(2) 盘形制动。盘形制动可分为轴盘式和轮盘式制动，如图 1-3 所示。非动力转向架一般采用轴盘式制动；动力转向架也是优先采用轴盘式制动，但如果动力转向架同一轮对两车轮之间由于安装牵引电动机等设备使制动盘的安装发生困难时，可采用轮盘式制动。制动时，制动缸通过制动夹钳使闸片夹紧制动盘，在闸片与制动盘间产生摩擦，把列车的动能转变为热能，热能通过制动盘与闸片消散于大气。盘形制动采用高性能摩擦副材料和良好的散热结构，可以获得比闸瓦制动大得多的制动功率。



(a) 轴盘式

(b) 轮盘式

图 1-3 盘形制动

盘形制动装置由单元制动缸、夹钳装置、闸片和制动盘组成，如图 1-4 所示。其中，单元制动缸中包含闸调器，夹钳装置由吊杆、闸片托、杠杆和支点拉板组成。夹钳的悬挂方式为制动缸浮动三点悬挂，即两闸片托的吊杆为两悬挂点，另一悬挂点是支点拉板。

盘形基础制动装置在制动时，制动缸活塞杆推出，制动缸缸体和活塞带动两根杠杆，通过杠杆和支点拉板组成的夹钳使装在闸片托上的闸片同时夹紧制动盘的两个摩擦面，产生制动作用。

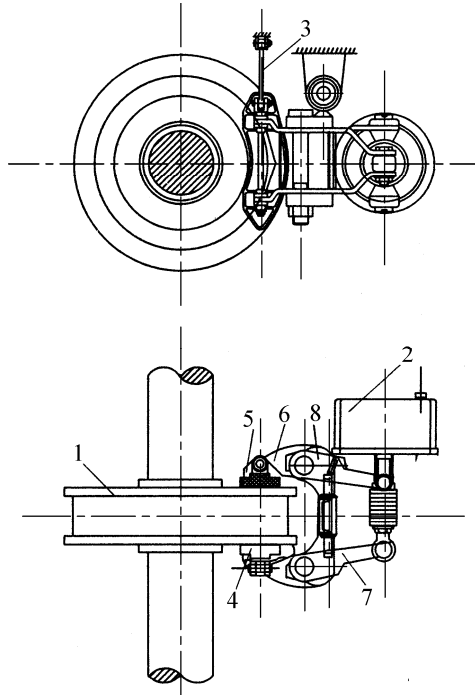


图 1-4 盘形制动结构

1—轮对；2—单元制动缸；3—吊杆；4—制动夹钳；5—闸片托；6、7—杠杆；8—支点拉板

与闸瓦制动相比，盘形制动有下列优点：

① 可以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”，盘形制动的制动盘可以设计成带有散热筋，旋转时它具有半强迫通风的作用，以改善散热性能，适宜于高速、重载行车。

③ 制动平稳，几乎没有噪声。

但盘形制动有下列不足之处：

① 车轮踏面没有闸瓦的磨刮，轮轨黏着将恶化。所以，为了防止高速滑行，既要考虑采用高质量的防滑装置，也要考虑加装踏面清扫器，或采用以盘形为主、盘形加闸瓦的混合制动方式，否则即使安装有防滑器，制动距离也比采用闸瓦制动时要长。

② 制动盘使簧下质量及其引起的冲击振动增大；运行中还要消耗牵引功率，速度愈高，此种功率损失亦愈大。

(3) 轨道电磁制动（又称为磁轨制动）。如图 1-5 所示，在转向架构架侧梁下通过升降风缸安装有电磁铁，电磁铁下设有磨耗板。制动时将电磁铁放下，使磨耗板与钢轨吸住，列车

的动能通过磨耗板与钢轨摩擦转化为热能，然后经钢轨和磨耗板最终消散于大气。轨道电磁制动能得到较大的制动力，因此常被高速列车用作紧急制动时的一种补充制动手段。

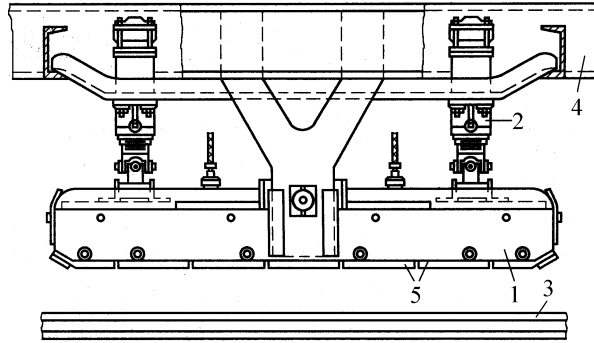


图 1-5 轨道电磁制动

1—电磁铁；2—升降风缸；3—钢轨；4—转向架构架侧梁；5—磨耗板

2. 动力制动

动力制动在制动时，将牵引电机由电动机变为发电机，使列车动能转化为电能。对这些电能的不同处理方式形成了不同形式的动力制动。列车上常用的动力制动形式主要有电阻制动、加馈电阻制动、再生制动和电磁涡流制动。

(1) 电阻制动。将发电机发出的电能加于电阻器中，使电阻器发热，即电能转变为热能。电阻器上的热能靠风扇强迫通风而消散于大气中。电阻制动一般能提供较稳定的制动力，但车辆底架下需要安装体积较大的电阻箱。

(2) 加馈电阻制动。加馈电阻制动又称为“补足”电阻制动。在常规电阻制动中，电机的电枢电流随着机车速度的减小而减小，机车轮周制动力也随着机车的速度变化而变化。加馈电阻制动为提高机车在低速运行时的轮周制动力，从电网中吸收电能，补足到电机的电枢电流中去，以获得理想的轮周制动力。其优点一是加宽了调速范围，最大制动力可以延伸至车速接近零；二是能较方便地实现恒制动力控制。目前大部分 SS 型电力机车都采用这种电制动方式。一般来说，相控机车上不另设加馈电源，而是使用牵引时的整流调压电路作为制动工况时的加馈电源。在加馈区制动时，只需调节半控整流电路中晶闸管的移相角即可调节加馈电源输出，及时补足制动电流，维持制动电流不变。从理论上讲，加馈电阻制动可以使机车制停。但实际上由于牵引电机整流器不允许在电机静止不动时长时间通过额定电流，以防止整流器过热而烧毁。故机车速度低于一定值时，就切除加馈电阻制动，改用空气制动制停机车。

(3) 再生制动。在以上的各种制动方式中，列车具有的动能最终都转化为热能而消散于大气中。而再生制动是把列车的动能通过电机转化为电能后，再使电能反馈回电网，提供给其他列车使用。再生制动初期，牵引电动机转变为发电机，列车制动产生的电能经过转换，输送回第三轨（或接触网）和供给本列车的辅助系统。显然，这种方式既能节约能源，又能减少制动时对环境的污染，并且基本上无磨耗，因此，是一种较为理想的制动方式。

随着列车速度的下降。其电制动力也将不断地减弱，当列车速度降低至一定的速度时，电制动已不能满足制动需求，这时电制动力将逐渐被切除，所需的制动力将由空气制动来承

担。同时列车还进入一个停车制动的程序。

(4) 电磁涡流制动。电磁涡流制动是利用电磁涡流在磁场中产生洛伦兹力，而洛伦兹力方向与物体运动方向相反的物理原理创造的一种电磁制动方式。电磁涡流制动具有无摩擦、无噪声、体积小、制动力大的优点。目前，车辆利用电磁涡流制动的方式主要有盘形涡流制动和轨道直线涡流制动。

(二) 按制动力形成方式分类

根据列车制动力的获取方式，制动方式可分为黏着制动和非黏着制动。

1. 黏着制动

制动时，车轮与钢轨之间有三种可能的状态：

(1) 纯滚动状态。车轮与钢轨的接触点无相对滑动，车轮在钢轨上作纯滚动。这时车轮与钢轨之间为静摩擦，车轮与钢轨之间可能实现的最大制动力是轮轨之间的最大静摩擦力。这是一种难以实现的理想状态。

(2) 滑行状态。车轮在钢轨上滑行，这时车轮与钢轨之间的制动力为二者的动摩擦力。这是一种必须避免的事故状态，由于动摩擦系数远小于静摩擦系数，因此一旦发生这种工况，制动力将大大减小，制动距离会延长；同时车轮在钢轨上的长距离滑行，将导致车轮踏面的擦伤，危及行车安全。

(3) 黏着状态。由于车辆重力的作用，车辆与钢轨的接触处为一椭圆形的小面积。列车运行时，因曲线、钢轨接缝及道岔等原因，在制动时车轮在钢轨上处于连滚带滑（基本上是滚动）的状态。这种状态称为黏着状态。黏着状态下车轮与钢轨间的最大水平作用力称为黏着力。黏着力与轮轨间垂直载荷的比值，称为黏着系数。依靠黏着滚动的车轮与钢轨接触点之间的切向力来实现车辆减速或停车的制动方式称为黏着制动。采用黏着制动时，为了能得到较大的制动力，轮轨间需要具有较高的黏着系数。然而黏着系数受列车运行速度、气候条件、轨轮表面状态以及是否采取增黏措施等诸多因素的影响，是一个有很大离散性的参数。

2. 非黏着制动（黏着外制动）

制动时，制动力大小不受黏着力限制的制动方式称为非黏着制动。即非黏着制动的制动力不从轮轨接触区获取，因而它可以得到较大的制动力。

显然，在上面曾经介绍的制动方式中，闸瓦制动、盘形制动、电阻制动、加馈电阻制动和再生制动均属于黏着制动；而磁轨制动和轨道涡流制动则属于非黏着制动。

(三) 按制动源动力分类

在目前列车所采用的制动方式中，制动的源动力主要有压缩空气和电。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；以电为源动力的制动方式称为电气制动方式。动力制动及轨道电磁制动等均为电气制动方式。

二、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。

制动机按作用对象可以分为机车制动机和车辆制动机。

按制动机的操纵方法和动力来源可分为手制动机、空气制动机、真空制动机和电空制动机等。

1. 手制动机

用人力转动手轮或拨动杠杆的方法，使闸瓦压紧车轮踏面或使闸片夹紧制动盘，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，在调车作业或长时间就地停放时使用。

2. 真空制动机

真空制动机以大气压作为动力来源，以对空气抽空程度（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。

3. 空气制动机

以压力空气作为制动的动力来源，并以压力空气的压强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应用最为广泛的制动机。我国机车车辆上都装有空气制动机。

4. 电空制动机

电空制动机仍以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产生制动或缓解作用，列车前、后部的动作一致性比较好。

【实践与训练】

学习工作单

工作单	制动方式和制动机的分类		
任务	熟知制动方式按列车动能转移方式、制动力形成方式、制动源动力的分类方法；熟知制动机按其用途的分类方法；熟知制动机按照操纵方法和动力来源的分类方法。		
班级		姓名	
学习小组		工作时间	

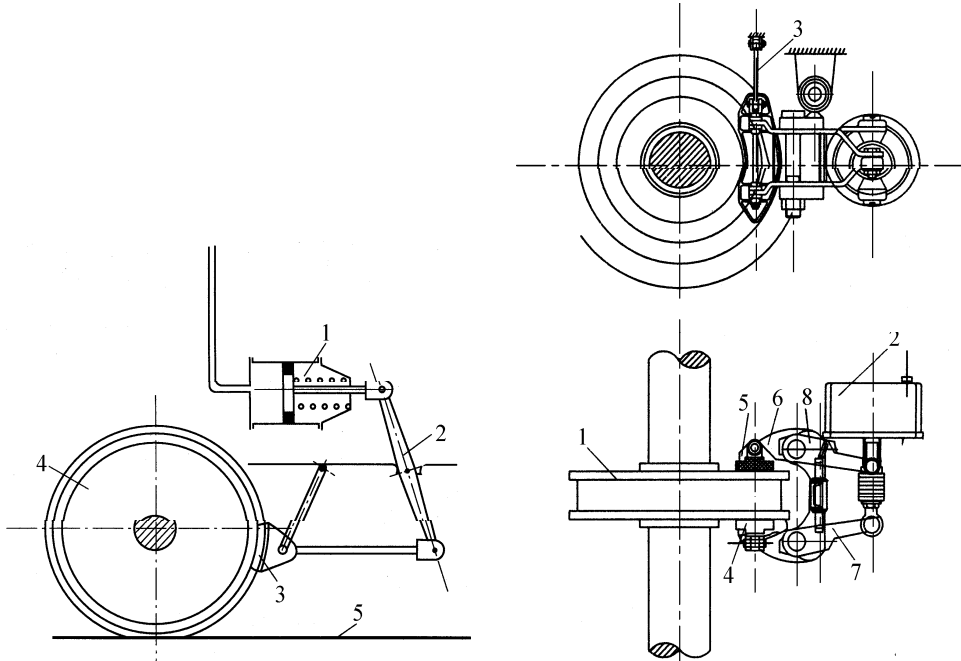
续上表

【知识认知】

1. 分析摩擦制动的闸瓦制动、盘形制动和轨道电磁制动（磁轨制动）的异同点；
2. 分析电阻制动、再生制动、空气制动的异同点和投入时机；
3. 分析黏着制动和非黏着制动的异同点；
4. 分析制动机按其用途的分类方法；
5. 分析比较手制动机、真空制动机、空气制动机和电空制动机的区别。

【能力训练】

1. 按照闸瓦制动和盘形制动的示意图，说出各组成部件的名称和两种制动原理的异同点。



2. 试分析比较手制动机、真空制动机、空气制动机和电空制动机的异同点。

任务学习其他说明或建议：

指导老师评语：

任务完成人签字：

日期： 年 月 日

指导老师签字：

日期： 年 月 日

