



全国职业教育城市轨道交通专业规划教材

# 城市轨道交通

## 车辆制动系统

刘柱军 佟关林 主 编  
吴文江 李广才 副主编  
董金汇 主 审



人民交通出版社  
China Communications Press

免费下载

配课件

[www.ccpres.com.cn](http://www.ccpres.com.cn)

全国职业教育城市轨道交通专业规划教材

Chengshi Guidao Jiaotong Cheliang Zhidong Xitong

# 城市轨道交通车辆制动系统



人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书为全国职业教育城市轨道交通专业规划教材。全书共分 12 个单元,全面介绍了城市轨道交通车辆制动系统的结构和作用原理及故障检修工作,以及动车组制动系统。主要包括:城市轨道交通车辆制动系统概述、供风系统、基础制动装置、动力(电)制动系统、EP2002 型制动系统、HRDA 型数字模拟式电空制动系统、铁科研微机控制直通式电空制动系统、EP09 型制动系统、KBGM 型模拟式电气指令制动系统、KBWB 型模拟式电气指令制动系统、制动系统和制动机部件的检修及常见故障处理、动车组制动系统。

本书可作为城市轨道交通专业高职和中职学校教学用书,也可作为职业技能培训或自学用书,同时可供从事城市轨道交通管理和服务人员及工程技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆制动系统 / 刘柱军,佟关林主编. —北京:

人民交通出版社, 2013.5

全国职业教育城市轨道交通专业规划教材

ISBN 978-7-114-10426-8

I. ①城… II. ①刘… ②佟… III. ①城市铁路—铁路车辆—  
车辆制动—职业教育—教材 IV. ①U239.5 ②U260.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 041691 号

全国职业教育城市轨道交通专业规划教材

书 名:城市轨道交通车辆制动系统

著 作 者:刘柱军 佟关林

责任编辑:曹延鹏

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京交通印务实业公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:14.75

字 数:350 千

版 次:2013 年 5 月第 1 版

印 次:2013 年 5 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10426-8

定 价:30.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



目前,我国城市轨道交通运输正处在快速发展时期,地铁、轻轨、单轨、城际动车组等各种轨道交通系统如雨后春笋般不断涌现,据不完全统计,现已开通运营、在建和正在规划建设城市轨道交通的城市已达 40 多个。预计到 2015 年前后,我国建成和在建轨道交通线路将达到 158 条,总里程将超过 4 189km。因此,急需一大批城市轨道交通系统的检修运用方面的人才。而目前城市轨道交通车辆制动系统的教材较少,不能满足教育和培训的需求,本书填补了这方面的空白。

为适应目前职业教育“校企合作,工学结合”的人才培养模式,本书由具有丰富轨道交通岗前培训经验的教师编写,针对城市轨道交通车辆检修岗位需求,从基本概念和基础理论入手,系统地阐述了城市轨道交通车辆制动系统的相关内容。

本书稿在黑龙江第二技师学院曾作为教材和讲义试用,边使用边修改,此次做了较大幅度的修改,增加了大量制动领域的新技术,如城轨车辆 EP2002 型制动系统、铁科研车控式城轨车辆制动系统和架控式 EP09 型制动系统、动车组制动系统等。本书内容全面系统,有着很强的针对性和实用性。本书由北京京港地铁有限公司专家董金汇主审,由黑龙江第二技师学院刘柱军、北京地铁运营公司专家佟关林担任主编,黑龙江第二技师学院吴文江和山东职业学院李广才担任副主编。参编人员包括黑龙江第二技师学院的于春梅、董英秋、韩奎英。为方便教师和学生学习,每单元配有适量的习题,同时主编还制作了电子课件,可于人民交通出版社网站下载使用。

本书在编写过程中,得到了北京地铁公司、铁道部科学研究院、长沙东风教具厂、天津维科车辆有限公司等单位在技术资料方面的支持,在此表示由衷的感谢。同时,在编写过程中参阅了大量专业书籍和杂志的专题文章,在此对其作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 8 月

# 目录 MULU

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 单元 1 城市轨道交通车辆制动系统概述 .....       | 1   |
| 1.1 制动的基本概念和制动系统的重要作用 .....     | 2   |
| 1.2 城市轨道交通车辆制动系统的发展历程 .....     | 5   |
| 1.3 城市轨道交通车辆制动机的种类 .....        | 9   |
| 1.4 城市轨道交通的特点和制动系统应具备的条件 .....  | 16  |
| 复习与思考 .....                     | 17  |
| 单元 2 供风系统 .....                 | 18  |
| 2.1 空气压缩机组 .....                | 19  |
| 2.2 空气干燥器 .....                 | 26  |
| 2.3 二次冷却器及空气压缩机的主要附件 .....      | 34  |
| 2.4 制动管路附件和制动管路布置 .....         | 40  |
| 2.5 气路原理说明 .....                | 45  |
| 复习与思考 .....                     | 47  |
| 单元 3 基础制动装置 .....               | 48  |
| 3.1 闸瓦及踏面制动单元 .....             | 49  |
| 3.2 盘形基础制动装置 .....              | 61  |
| 复习与思考 .....                     | 74  |
| 单元 4 动力(电)制动系统 .....            | 75  |
| 4.1 城市轨道交通车辆制动系统介绍 .....        | 76  |
| 4.2 直流牵引传动电制动和交流牵引传动电制动 .....   | 82  |
| 复习与思考 .....                     | 89  |
| 单元 5 EP2002 型制动系统 .....         | 90  |
| 5.1 EP2002 型制动系统的结构和主要优缺点 ..... | 91  |
| 5.2 EP2002 制动系统的控制过程和作用原理 ..... | 101 |
| 复习与思考 .....                     | 107 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>单元 6 HRDA 型数字模拟式电空制动系统</b>  | 109 |
| 6.1 HRDA 型数字模拟式电空制动系统的组成       | 110 |
| 6.2 HRDA 型制动系统的作用过程、工作原理       | 114 |
| 复习与思考                          | 122 |
| <b>单元 7 铁科研微机控制直通式电空制动系统</b>   | 123 |
| 7.1 铁科研微机控制直通式电空制动系统的组成        | 124 |
| 7.2 铁科研微机控制直通式电空制动系统的功能        | 128 |
| 复习与思考                          | 132 |
| <b>单元 8 EP09 型制动系统</b>         | 133 |
| 8.1 EP09 型制动系统结构               | 134 |
| 8.2 EP09 型制动系统的控制及作用原理         | 144 |
| 复习与思考                          | 153 |
| <b>单元 9 KBGM 型模拟式电气指令制动系统</b>  | 154 |
| 9.1 KBGM 型制动系统的组成              | 155 |
| 9.2 空气制动系统控制过程及作用原理            | 162 |
| 复习与思考                          | 167 |
| <b>单元 10 KBWB 型模拟式电气指令制动系统</b> | 168 |
| 10.1 KBWB 型模拟式电气指令制动系统组成       | 169 |
| 10.2 KBWB 型模拟式电气指令制动系统的作用原理    | 175 |
| 复习与思考                          | 182 |
| <b>单元 11 制动系统和制动部件的常见故障及检修</b> | 184 |
| 11.1 制动系统及制动机部件的检修             | 185 |
| 11.2 空气制动系统常见故障处理              | 194 |
| 复习与思考                          | 197 |
| <b>单元 12 动车组制动系统</b>           | 198 |
| 12.1 动车组制动系统的组成及工作原理           | 199 |
| 12.2 CRH <sub>2</sub> 动车组制动系统  | 212 |
| 12.3 CRH <sub>3</sub> 动车组制动系统  | 216 |
| 12.4 CRH <sub>5</sub> 动车组制动系统  | 221 |
| 12.5 CRH380 动车组制动系统            | 225 |
| 复习与思考                          | 229 |
| <b>参考文献</b>                    | 230 |

## 单元 1

# 城市轨道交通车辆制动系统概述



### 教学目标

1. 掌握制动系统的基本概念；
2. 掌握车辆制动系统的分类；
3. 了解城市轨道交通车辆制动系统应具备的条件。



### 建议学时

8 学时

## 1.1

# 制动的基本概念和制动系统的重要作用

## 一 基本概念

### 1 列车制动系统和列车制动装置

为使列车能实施制动和缓解而安装于列车上的一整套装置,总称为列车制动装置。有时,制动与制动装置均简称为闸。实施制动简称为上闸,也可简称为下闸。使制动得到缓解简称为松闸。

在铁路上,可分为机车制动装置和车辆制动装置。由于城市轨道交通车辆与铁路车辆的编组形式不同,一般都采用动力分散型的动车组形式,所以可分为动车制动装置和拖车制动装置。城市轨道交通车辆操纵全列车制动功能的设备安装在列车两端的带司机室的头车上。头车既可以是拖车(T)也可以是动车(M),我国城市轨道交通车辆头车一般是拖车。

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。目前,制动控制部分主要有空气制动控制部分和电空制动控制部分两大类。制动执行部分通常称为基础制动装置,包括闸瓦制动、盘形制动、磁轨制动等不同方式。

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,因此称其为一套制动装置。但是随着高速动车组和轨道交通车辆技术的发展,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不能独立划分。因此,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。

当以压力空气作为制动信号传递和制动力控制的介质时,该制动装置称为空气制动控制系统,又称空气制动机。以电气信号来传递制动信号的制动控制系统,称为电气指令式制动控制系统,其制动力的提供可以是压力空气、电磁力、液压等方式。

现代轨道交通车辆的制动系统是由动力制动系统、空气制动系统以及指令和通信网络系统三部分组成的。

#### (1) 动力制动系统

它一般与牵引系统连在一起形成主电路,包括再生反馈电路和制动电阻器,将动力制动

产生的电能反馈给供电接触网或消耗在制动电阻器上。

## (2) 空气制动系统

它由供气部分、控制部分和执行部分等组成。供气部分有空气压缩机组、空气干燥器和风缸等;控制部分有电—空转换阀(EP)、紧急阀、称重阀和中继阀等;执行部分有闸瓦制动装置和盘形制动装置等。

## (3) 指令和通信网络系统

它既是传送司机指令的通道,也是制动系统内部数据交换及制动系统与列车控制系统进行数据通信的总线。

## 2 制动作用和缓解作用

①制动。人为地制止物体的运动,包括使其减速、阻止其运动或加速运动,均可称为制动。

②缓解。对已经施行制动的物体,解除或减弱其制动作用,均可称为缓解。

对于运动着的列车,欲使其减速或停车,就要根据需要施加于列车一定大小的与其运动方向相反的外力,以使其实现减速或停车作用,即施行制动作用;列车制动停车后,起动加速前或运行途中限速制动后,加速前均要解除制动作用,即施行缓解作用。

## 3 制动的实质

①能量的观点:将列车的动能变成别的能量或转移走。

②作用力的观点:制动装置产生与列车运行方向相反的力,使列车尽快减速或停车。

## 4 制动机

制动机是指产生制动原动力并进行操纵和控制的部分设备。

## 5 制动力

制动力是指由制动装置产生的与列车运动方向相反的外力。

对轨道交通机车车辆而言,制动力是制动时由制动装置产生作用后而引起的钢轨施加于车轮的与列车运行方向相反的力。

## 6 基础制动装置

基础制动装置是指传送制动原动力并产生制动力的制动执行装置。

## 7 制动距离

制动距离是指从司机施行制动的瞬间起(将制动手柄移至制动位)到列车速度降为零时列车所行驶的距离,其综合反映列车制动装置的性能和实际制动效果的主要技术指标。

上海地铁规定:城轨列车在满载乘客的条件下,在任何运行初速度下,其紧急制动距离不得超过 180m。广州地下铁道总公司规定制动距离见表 1-1。

制 动 距 离

表 1-1

| 初速度 (km/h) | 常用制动距离 (m) | 紧急制动距离 (m) |
|------------|------------|------------|
| 80         | 234        | 200        |
| 60         | 136        | 118        |
| 40         | 65         | 56         |

## 二 城市轨道交通车辆制动系统的制动模式

根据车辆的运行要求,制动系统采用以下几种制动模式。

### 1 常用制动

正常运行下为调解或控制列车速度,包括进站停车所实施的制动,特点是作用比较缓和,制动力可以连续调节,制动过程中能够根据车辆载荷自动调整制动力(当常用制动力最大时即为常用全制动)。

### 2 紧急制动

在紧急情况下为使列车尽快停止而施行的制动,特点是作用比较迅速,而且将列车制动能力全部使用,通过故障导致安全的设计原则为“失电制动,得电缓解”的紧急空气制动系统。紧急制动是在列车遇到紧急情况或发生其他意外情况时,为使列车尽快停车而实施的制动,其制动力与快速制动相同。紧急制动时考虑了脱弓、断钩、断电等故障情况,故只采用空气制动,而且停车前不可缓解,在尽可能减小冲动的情况下不对冲动进行具体限制。

### 3 快速制动

快速制动是为了使列车尽快停车而实施的制动,其制动力高于常用全制动(上海、广州快速制动力高于常用全制动 22%)。这种制动方式是在紧急情况下,制动系统各部分作用均正常时所采取的一种制动方式,其特点是与常用制动相同,制动过程可以施行缓解。

受冲击率极限的限制,主控制器手柄回“0”位,可缓解,具有防滑保护和载荷修正功能。

### 4 保压制动

保压制动是防止车辆在停车前的冲动,使车辆平稳停车,通过 ECU 内部设定的执行程序来控制。

第一阶段:当列车制动到速度 8km/h,DCU 触发保压制动信号,同时输出给 ECU。这时,由 DCU 控制的电制动逐步退出,而由 ECU 控制的气制动来替代。

第二阶段:接近停车时(列车速度 0.5km/h),一个小于制动指令(最大制动指令的 70%)的保压制动由 ECU 开始自动实施,即瞬时地将制动缸压力降低。如果由于故障,ECU 未接收到保压制动触发信号,ECU 内部程序将在 8km/h 的速度时自行触发。

### 5 弹簧停放制动

为防止车辆在线路停放过程中发生溜逸,城轨车辆设置停放制动装置。停放制动通常是将弹簧停放制动器的弹簧压力通过闸瓦作用于车轮踏面来形成制动力。以前停放制动也称停车制动或弹簧停车制动,但在地铁列车中,停车制动是另外一个概念,所以为区别开来,称停放制动较好。库内停车时可以解决因制动缸压力会因管路漏泄,无压力空气补充而逐步下降到零,使车辆失去制动力的停放问题。在正常情况下,弹簧力的大小不随时间而变化,由此获得的制动力能满足列车较长时间断电停放的要求。弹簧停放制动的缓解风缸充

气时,停放制动缓解;弹簧停放制动的缓解风缸排气时,停放制动施加;还附加有手动缓解的功能。停放制动是列车停车后,为使列车维持静止状态所采取的一种制动方式。

## 6 停车制动

对于地铁列车来说,通常把停车前的这一段空气制动过程称为停车制动或保持制动。当停车制动使列车减速到极低速度以后,为减小冲动,制动力会有所降低。上海地铁和广州地铁是在减速至 4km/h 左右,制动力降至 70%。停车制动具有常用制动的特点。

# 三 制动系统的重要作用

对轨道交通来讲,制动系统有着非常重要的作用。制动系统作用的可靠性是列车行车安全的基本保证。列车因故障不能出发不会有什么危险,若在运行中因制动装置故障不能停车,则后果是不堪设想的。所以我国和谐号 CRH 动车组列车的制动控制系统设计理念是故障导向安全,采用多级制动控制方式和制动能力冗余设计。安全第一,“不止不行”。对现代轨道交通而言,制动的重要作用早就不仅仅是安全的问题了,制动已经成为限制列车运行速度和牵引力进一步提高的重要因素。现代轨道交通列车正朝着高速重载方向发展,运行速度越高,牵引力越大,需要的制动力也就越大。如果只提高运行速度及牵引力而没有更大功率的制动装置来保证,结果只能跑而不能停,其高速重载就不可能实现。所以,制动装置的重要作用在于:一方面使列车在任何情况下减速或停车,确保行车安全;另一方面也是提高列车运行速度、提高牵引力(即提高轨道交通运输能力)的重要手段。从安全的目的出发,一般列车的制动功率要比驱动功率大 5~10 倍。列车的制动能量和速度成平方关系,时速 200~300km/h 动车组的制动能量是普通列车的 4~9 倍。可见,能力强大的制动装置对于保证列车高速、重载、安全运行有着至关重要的意义。衡量一个国家的轨道交通水平,首先要看能制造多大牵引力的机车。而牵引与制动是互相促进的,没有先进的制动技术就没有现代化的轨道交通。

## 1.2

# 城市轨道交通车辆制动系统的发展历程

## 一 城市轨道交通车辆制动系统的发展

随着 20 世纪初科学技术的发展,制动技术方面逐步发展为空气制动机。我国旅客

列车客车空气制动机最早使用  $L_3$  型客车制动机,  $L_3$  是一种客车三通阀, 新中国成立后对其进行改造命名为  $GL_3$  型客车三通阀。20 世纪 60 年代末, 国内开始研制新型客货车制动机—103 型货车分配阀和 104 型客车分配阀。104 型客车分配阀于 1975 年通过铁道部的技术鉴定, 在客车上得到全面推广使用, 从此  $GL_3$  型三通阀停止生产。1989 年铁道部又通过  $F_8$  型客车分配阀技术鉴定, 104 型和  $F_8$  型空气制动机成为我国旅客列车使用的主型制动机, 可混编使用。所谓的空气制动机就是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实现列车的制动和缓解作用的制动装置。这种空气制动机被广泛应用于铁路、地铁、轻轨、独轨等轨道交通车辆上。我国 20 世纪 60 年代未开通的北京地铁, 用的均为国产车, 配备自制的制动机产品, 如使用 DK 型电空制动机, 它是由电磁阀组和制动阀控制的空气制动。它的特点是在扳动制动阀手柄进行空气制动的同时, 装在制动阀上面的电空制动控制器相应地发生作用。这时, 空气制动和电气控制作用同时产生, 当电制动失效时空气制动还能发生作用。DK 型电空制动机空气制动部分是在铁路客车原 LN 型空气制动机的基础上加以改造的, 主控机构先期直接采用  $GL_3$  型三通阀。由于城市轨道交通车辆空重车质量相差较大, 所以加装了空重车调整装置, 基础制动装置为踏面制动。后来对 DK 型电空制动机进行了进一步改进, 仿照客车分配阀设计了膜板分配阀, 在操作灵活性和可靠性方面与  $GL_3$  型三通阀相比有了较大的提高。但 DK 型制动系统在电阻制动与空气制动的匹配上采用切换方式, 因而制动力控制性能较差。

最近几十年来, 由于电力电子变流技术和微机技术的加入, 使电气指令式制动控制系统不断改进、发展, 大功率电力电子元件的出现使电气再生制动成为可能, 微机技术的应用使制动防滑系统更加精确和完善。数字式电空制动机开发从 20 世纪 70 年代开始, 由长春客车厂与铁道部科学研究院合作研究开发地铁车辆用的 SD 型数字式直通电空制动机。此项技术是传统的轨道机车车辆制动机在地铁上的一个飞跃。该制动系统缩短了空走时间和制动距离, 改善了车辆制动的一致性, 其性能比较先进; 列车导线传递 PWM (脉宽调制) 控制信号, 手控 15 级, 自动驾驶 64 级, 车辆制动机解码, 电制动优先, 电—空制动相互匹配。它具有制动压力准确、传输速度快、操作方便以及可实现空气制动与电气制动自动配合的优点。这项技术在凸轮变阻车、斩波调压车、斩波调阻车上得到了广泛应用。但采用这种控制技术, 动力制动的制动力在制动初期上升较慢, 而列车快要停车时又衰减较快, 需要空气制动力进行补充。该制动系统较 DK 型自动式电磁空气制动系统在动力制动与空气制动的配合、制动和缓解的一致性、与控制、动力制动能力的充分运用上存在着改进的余地, 而且在实践中, 控导阀的性能受材料和工艺的影响极大, 所以 SD 型电空制动机系统已被逐步淘汰。

十几年来, 我国已修建了近千公里城市轨道交通线。这些线上城市轨道交通车辆的制动系统大都采用微机控制直通电空制动系统, 原理基本相同, 但在具体的实施方法上有所区别, 主要有以下五种形式。

①以上海地铁和广州 1、2 号线地铁为代表的德国 KNORR 公司的城市轨道交通车辆制动系统。它是目前国内 A 型车上运用最广的制动系统。该系统为模拟式制动系统, 制动指令采用 PWM 信号或网络信号, 它们被传递到每个车辆的微机制动控制单元。微机制动控制单

元一般单独设置在车厢内。而气制动控制单元由两块气动集成板和风缸等组成,分别固定在车辆底架下,系统结构紧凑。目前深圳、南京地铁车辆和大连轻轨车辆,甚至部分国内试制的高速电动车组上也采用了该制动系统。

②以北京地铁、天津地铁为代表的 B 型车上采用较多的日本 NABCO 公司生产的 HRDA 型制动系统。该系统为数字式制动系统。即常用制动指令采用 3 根指令线编码,共 7 级。微机制动控制单元与气制动控制单元集成在一起,固定于车辆底架下面。由于采用了流量比例阀进行 EP 控制,因此气制动控制单元较为简单。在武汉轻轨和重庆独轮轨等项目上也采用了此制动系统。基础制动根据车辆的不同有所区别。

③以上海地铁 3 号线、5 号线为代表的原英国 Westinghouse 公司(现已被 KNORR 公司收购)的微机控制直通电空制动系统。该系统按整车模块化原则设计,集成度较高。它将微机制动控制单元、气制动控制单元、风缸、风源等除必须安置在转向架附近的部件外,全部在一个安装架上集成安装,方便运用维护。该系统同样采用 PWM 信号传递制动指令,为模拟式制动系统。EP 转换采用 4 个开关电磁阀闭环控制的方法。

④德国 KNORR 公司生产的架控式 EP2002 型制动系统。该系统目前得到了广泛应用,所谓架控形式,就是在一个转向架上装一个 EP2002 阀,一个 EP2002 阀只控制一个转向架。如果一个 EP2002 阀出现故障,只需切除一个转向架上空气制动控制,使故障对列车运行的影响减至最小。我国广州地铁 3 号线是世界上第一个使用 EP2002 型制动系统的用户。

⑤我国架控式 EP09 型制动系统。广州地铁公司与铁道部科学研究院在 2008 年 12 月开始研制开发的架控式 EP09 型制动系统,在 2010 年 8 月 10 日通过专家评审,现已在广州地铁 3 号线、北京地铁 15 号线上装车使用,性能可靠。地铁车辆制动系统是地铁的关键部件,具有完全自主知识产权的 EP09 型制动系统的研制成功,是在变压变频交流传动系统、微处理器模拟直通电空制动系统上的一项重大突破,彻底打破了国外技术垄断,为我国城市轨道交通车辆制动系统国产化做出了突出贡献。

## 二 地铁制动系统形式的选择

常用的地铁制动系统主要有数字式和模拟式两种形式。二者的主要区别在于制动指令的传输方式上:数字式制动系统是将司机控制器或 ATO(列车自动驾驶)系统传来的制动指令信号,通过代表不同意义的信号线输出信号(如开关指令)来划分成不同的制动等级,控制后部车辆制动装置。制动指令(制动力指令值)是有级传输的,常用制动指令划分越细,所需要的信号线越多,如 SD 型制动系统采用七级模板阀控制即通过司机控制器发出的开关信号,控制三个电磁阀不同的开关组合,产生七个等级的制动控制压力。模拟式制动系统是用模拟量作为制动指令,通常是将司机控制器或 ATO 系统传来的制动指令信号,经编码器后,以脉宽调制(PWM)信号形式或直流电压方式等,经列车指令控制线传到后部车辆,脉宽调制信号以占空比的大小代表不同的制动指令。制动指令(制动力指令值)是无级传输的。上海地铁、广州地铁及北京地铁新造车均采用了模拟式制动系统。

### 1 常用的数字式制动系统的特点

- ①反应迅速,可靠性好。
- ②电信号没有临界限制,制动力一般只根据荷载变化进行调整。
- ③除了信号传给系统外,其他部分结构较为简单。
- ④有些数字式制动系统如气运算型等,空气制动与动力制动的混合使用比较困难,特别适合于动力制动和空气制动单独使用的地铁列车。
- ⑤由于制动指令是有级传输的,与列车自动驾驶系统一起使用的适应性不如模拟式制动系统。

### 2 模拟式制动系统的特点

- ①指令传输系统简单。
- ②由于采用微机控制,能容易地增加诸如根据荷载变化进行控制,减速度控制和减速度微分控制等功能。能够控制列车或列车基本单元内的制动力分配,如动力制动剩余制动力可用于拖车制动,也可对动力制动和空气制动进行防滑控制,不必另设防滑控制单元。
- ③能够适应空气制动和动力制动的混合作用。
- ④由于制动指令是无级传输的,能对制动系统精确控制,所以能更好地适应列车自动驾驶的要求。

现在的数字式制动系统除了指令传输外,其余部分的结构和功能应可以与模拟式相同或相近,如混合使用、适应ATO驾驶等。但是,对于数字式而言,无论如何其制动指令是有级传输的,控制得越精确,信号线就越多,信号传输系统越复杂,也越容易发生故障。模拟式的信号传输系统简单,而且从理论上讲,可以做到无级传输,有利于精确控制。而地铁列车一个重要特点就是要求停车准确,所以制动力的精确控制非常重要。因此,模拟式制动系统更适用于地铁列车。我国地铁列车制动系统的发展方向应是模拟式制动系统。

## 三 地铁车辆一般制动设计原则

- ①电制动为主。
- ②紧急制动由空气制动提供。
- ③车辆停放时制动由弹簧力提供,压缩空气缓解。
- ④在电制动力不足情况下,动车与拖车分别根据各自车辆所接收的制动指令,同时施加空气制动。
- ⑤在电制动失效或紧急制动过程中,空气制动将代替电制动,且根据车辆载质量施加空气制动。
- ⑥低速运行时,由空气制动代替电制动,实施保持制动使列车停车。
- ⑦当车辆需要运行时,保持制动由牵引指令进行缓解,并随着车辆牵引力的不断增大,保持制动逐渐缓解,可以防止牵引力不足时,制动完全缓解造成的车辆后退。

## 1.3

## 城市轨道交通车辆制动机的种类

## 一 按城轨列车动能转移方式分类

按照制动时列车动能的转移方式不同,可以分为摩擦制动和动力制动。

## 1 摩擦制动

通过摩擦副的摩擦将列车的运动动能转变为热能,消散于大气,从而产生制动作用。城轨车辆常用的摩擦制动方式主要有闸瓦制动、盘形制动和轨道电磁制动。

## (1) 闸瓦制动

闸瓦制动又称踏面制动,是一种最常用的一种制动方式,如图 1-1 所示。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。

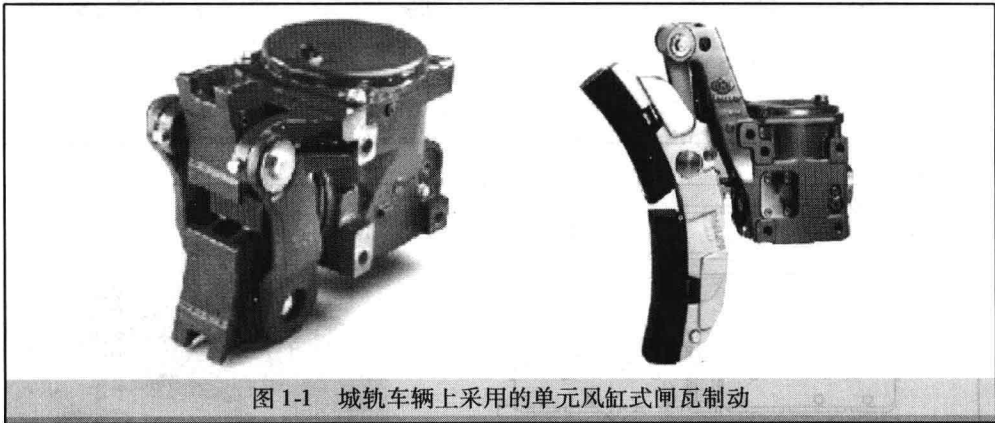


图 1-1 城轨车辆上采用的单元风缸式闸瓦制动

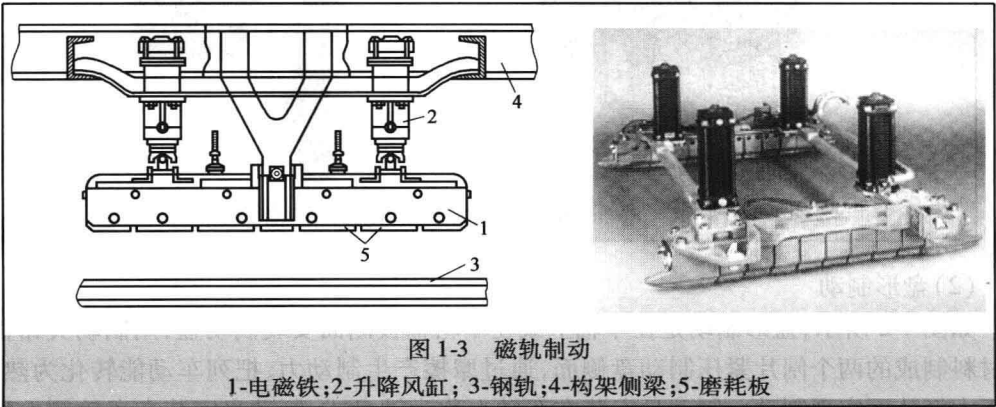
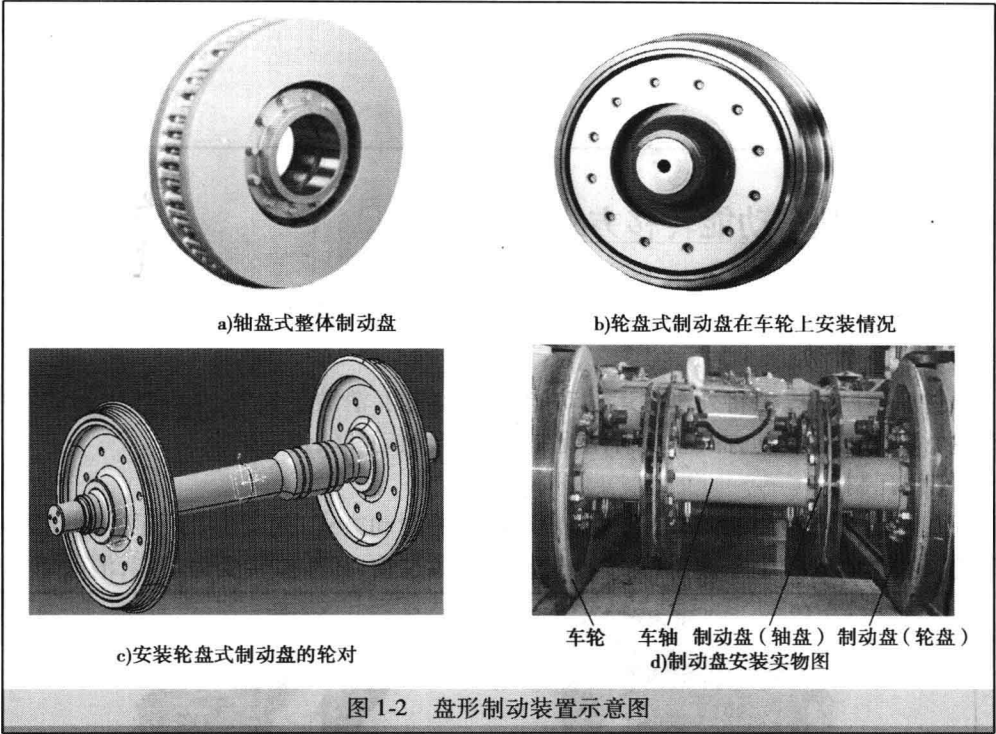
## (2) 盘形制动

如图 1-2 所示,盘形制动是在车轴上或在车轮辐板侧面安装制动盘,用制动夹钳使用合成材料制成的两个闸片紧压制动盘侧面,通过摩擦产生制动力,把列车动能转化为热能,消散于大气从而实现制动。制动盘安装在车轴上称为轴盘式,制动盘安装在车轮侧面称为轮盘式。非动力转向架一般采用轴盘式,动力转向架由于轴身上装有齿轮箱,安装制动盘困难,所以采用轮盘式。

## (3) 轨道电磁制动

轨道电磁制动,又称磁轨制动,如图 1-3 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,以电操纵并作为动力来源。制动时,将导电后起磁感应的电磁铁放下压紧钢轨,使它与钢轨发生摩擦而产生制动。其优点是制动力不受轮轨间黏着的限制,不易使车轮滑行。但重力较大,从而增加了车辆的自重。在高速旅客列车上与空气制动机并用(特别是在紧急制动时),可缩短制动距离。如北京地铁机场线由于列车运行速度较高,最高时速可达 100km,该车组上装有轨道电磁制动机。



## 2 动力制动

也称电制动,列车制动时,将牵引电机变为发电机,使动能转化为电能对这些电能不同处理方式形成了不同方式的动力制动。城轨车辆上采用的动力制动的形式主要有再生制动和电阻制动,都是非接触式制动方式。