



21世纪职业教育创新型教材

城市轨道交通

车辆制动系统

主 编 安江伟



北京工业大学出版社
1586

内容提要

本书设置了 11 个大项目,共 36 个任务,对城市轨道交通车辆制动系统进行了精练的阐述。内容主要包括:城市轨道交通车辆制动系统概述、制动控制原理、供风系统、动力制动、基础制动装置、SD 型制动控制系统、KBGM 模拟式电气指令制动系统、EP2002 型制动控制系统、HRDA 数字指令式制动系统、KBWB 模拟式电气指令制动系统、NABTESCO 模拟式电气指令制动系统。

本书为职业院校城市轨道交通车辆专业教学用书,可作为职业技能培训或自学用书,也可供城市轨道交通运营、检修、驾驶等领域的管理人员和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/安江伟主编. —北京:
北京工业大学出版社, 2020. 7
ISBN 978-7-5639-7263-0

I. ①城… II. ①安… III. ①城市铁路—铁路车辆—
车辆制动—职业教育—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 297262 号

城市轨道交通车辆制动系统

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG CHELIANG ZHIDONG XITONG

主 编: 安江伟

责任编辑: 张 悦

封面设计: 易 帅

出版发行: 北京工业大学出版社

(北京市朝阳区平乐园 100 号 邮编:100124)

010-67391722(传真)bgdcbs@sina.com

经销单位: 全国各地新华书店

承印单位: 天津市蓟县宏图印务有限公司

开 本: 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张: 15

字 数: 299 千字

版 次: 2020 年 7 月第 1 版

印 次: 2020 年 7 月第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-5639-7263-0

定 价: 45.00 元

版权所有 翻印必究

(如发现印装质量问题,请寄本社发行部调换 010-67391106)

前

言

目前全国轨道交通在建里程超过5000千米，大部分将于“十三五”期间建成。“十三五”期间我国新增城市轨道交通里程数达到5640千米，到2020年城市轨道交通里程总数将达到或超过9000千米。中国将成为世界最大的轨道交通市场。轨道交通的迅速发展，带动了对轨道交通人才的需求。目前轨道交通领域人才缺口非常大，缺乏从事施工、维修、养护、通信信号系统、运营管理、监理等专业人才。未来，我国将需要大量城市轨道交通方面的专业人才，培养高级应用技能型专业人才是职业教育的目标，是摆在教育工作者面前的重要任务。

教材是教学工作的重要载体之一，面对当前职业教育城市轨道交通车辆专业学生适用教材很少的现状，为了满足城市轨道交通专业职业教育的需要，编者紧紧围绕应用型人才培养目标做了大量的调研，坚持理论联系实际的原则，结合城市轨道交通相关岗位的需求，并运用多年教学经验将理论知识和操作技能进行了深度融合，编写了本教材。

车辆是城市轨道交通重要且关键的设备，而制动系统更是城市轨道交通车辆的重要组成部分，也是确保城轨车辆正常运营和安全的关键。本书的编写结合了职业教育类学生的特点，针对城市轨道交通车辆制动系统岗位的需求，从基本概念和基础理论入手，全面系统地阐述了城市轨道交通车辆制动系统的相关内容，具有很强的针对性和实用性。

本书设置了11个大项目，共36个任务，对城市轨道交通车辆制动系统进行了精练的阐述。内容主要包括：城市轨道交通车辆制动系统概述、制动控制原理、供风系统、动力制动、基础制动装置、SD型制动控制系统、KBGM模拟式电气指令制动系统、EP2002型制动控制系统、HRDA数字指令式制动系统、KBWB模拟式电气指令制动系统、NABTESCO模拟式电气指令制动系统。

本书为职业院校城市轨道交通车辆专业教学用书，可作为职业技能培训或自学用书，也可供城市轨道交通运营、检修、驾驶等领域的管理人员和工程技术人员学习参考。

本教材在编写过程中，得到许多城市轨道交通车辆制动系统专家的大力支持和热情帮助，编者参考并引用了城市轨道交通车辆制动系统专业的技术专家、学

者的著作与成果，在此表示衷心的感谢！

由于编者经验和水平有限，本教材在资料和数据引用上不够全面，虽然编者做了大量工作、付出了很多努力，但书中难免有不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目录



项目一 城市轨道交通车辆制动系统概述 1

- 任务一 制动的基本概念和制动系统的重要作用 1
- 任务二 城市轨道交通车辆制动系统的发展历程 5
- 任务三 城市轨道交通车辆制动机的种类 11
- 任务四 城市轨道交通的特点和车辆制动系统应具备的条件 21

项目二 制动控制原理 25

- 任务一 制动控制的要求 25
- 任务二 制动指令 29
- 任务三 制动力的产生及黏着蠕滑理论 34
- 任务四 制动力的计算与分配 41
- 任务五 制动防滑控制WSP 44

项目三 供风系统 57

- 任务一 空气压缩机组 57
- 任务二 空气干燥器 67
- 任务三 二次冷却器及空气压缩机的主要附件 76
- 任务四 制动管路附件和制动管路布置 84
- 任务五 气路传动原理说明 89

项目四 动力制动 93

- 任务一 直流牵引传动的电制动 93
- 任务二 交流牵引传动的电制动 99
- 任务三 制动能力的设计与计算 106
- 任务四 制动优先和混合原则 112

项目五	基础制动装置	115
任务一	闸瓦及踏面制动单元	115
任务二	盘形基础制动装置	130
项目六	SD型制动控制系统	147
任务一	认知SD型制动控制系统的结构原理	147
任务二	认知SD型制动控制系统的控制过程	162
任务三	认知SD型制动控制系统的优点	166
项目七	KBGM模拟式电气指令制动系统	169
任务一	概述	169
任务二	空气制动控制系统各部分组成的结构及工作原理	172
任务三	KBGM制动系统控制原理	182
项目八	EP2002型制动控制系统	185
任务一	认知EP2002型制动控制系统的结构原理	185
任务二	认知EP2002型制动控制系统的控制过程	189
任务三	认知EP2002型制动控制系统的优点	192
项目九	HRDA数字指令式制动系统	195
任务一	HRDA数字指令式制动系统的组成	195
任务二	HRDA制动系统的作用过程、工作原理	200
项目十	KBWB模拟式电气指令制动系统	207
任务一	KBWB制动系统概述	207
任务二	空气制动控制系统	211
任务三	KBWB制动系统控制原理	214

项目十一 NABTESCO型制动控制系统 219

任务一 认知NABTESCO型制动控制系统的结构原理 219

任务二 认知NABTESCO型制动控制系统的控制过程 224

参考文献 229

项目一

城市轨道交通车辆制动系统概述

项目导读

本项目系统阐述了城市轨道交通车辆制动系统的基本知识。通过对本项目的学习，学生可以了解车辆制动系统的相关知识，能够掌握车辆制动的主要内容，为下一步学习本教材的知识和运用打下坚实的基础。

知识目标

- (1) 了解制动系统的基本概念；
- (2) 了解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；
- (4) 熟悉制动系统的重要作用；
- (5) 熟悉城市轨道交通车辆制动系统的发展历史。

能力目标

- (1) 能够掌握城市轨道交通车辆制动系统的制动模式；
- (2) 能够掌握城市轨道交通车辆一般制动设计的原则；
- (3) 能够掌握城市轨道交通车辆制动机的不同分类方式；
- (4) 能够掌握城市轨道交通的特点。

任务一 制动的基本概念和制动系统的重要作用

近年来，我国城市轨道交通快速发展，运行速度由最初的60 km/h逐渐提高到80 km/h、100 km/h，甚至更高。城市轨道交通运行站间距离较短，启动、停车频繁，为保障行车效率，要求车辆具有较大的启动加速和制动减速度。车辆在高速运行中必须依赖制动控制系统调节列车运行速度和及时准确地在预定地点停车。城市轨道交通载客量大、乘客上下车频繁，要保证列车安全运行，就要求车辆具有很高的制动性能。因此，制动控制系统是城市轨道交通车辆必不可少的组成部分，列车的制动能力是列车运营安全及运输能力的根本保证。

一、制动的基本概念

1. 列车制动系统和列车制动装置

为使列车能实施制动停车和降低行驶速度而安装于列车上的一整套制动装置，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，制动装置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，由动车和拖车组成，因此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的设备，安装在列车两端的带驾驶室的车头上。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。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，将具有制动功能的电子线路、电气线路和空气制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、液压能等方式。

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

动力制动系统，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

空气制动系统，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—气转换阀（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

指令和通信网络系统，既是传送驾驶指令的通道，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。

对于运动中的列车，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，即施行制动作用；列车制动停车后到再次起动加速前，或运行途中限速制动后到再次加速前，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。

(2) 作用力的观点：制动装置产生与列车运动方向相反的力，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可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行方向相反的外力。

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

制动距离是指从驾驶员施行制动的瞬间起（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。制动距离是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：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180 m。广州地下铁道总公司规定的制动距离见表1-1。

表1-1 广州地铁规定的制动距离

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

小贴士

数据交换：指在多个数据终端设备（DTE）之间，为任意两个终端设备建立数据通信临时互连通路的过程。数据交换可以分为电路交换、报文交换、分组交换和混合交换。

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

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）所施行的制动。其特点是：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称为常用全制动）。

2. 紧急制动

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。其特点是：作用比较迅速，而且将列车制动能力全部使用，采用故障导向安全的设计原则，即“失电制动、得电缓解”。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、广州轨道交通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（停车制动或保持制动）

保压制动是为了防止车辆在停车前的冲动，使车辆平稳停车，通过电子控制单元（ECU）内部设定的执行程序来控制。

第一阶段：当列车制动速度到8 km/h时，牵引控制单元（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控制的空气制动来替代。

第二阶段：接近停车时（列车速度0.5 km/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，则ECU内部程序将在8 km/h的速度时自行触发。

5. 停放制动

为防止车辆在线路停放过程中发生溜逸，城市轨道交通车辆设置停放制动装置。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。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。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，所以为了区分，称停放制动较好。库内停车时可以解决制动缸压力会因管路泄漏，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。

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。列车因故障不能行驶时不会有什么危险，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，其高速重载就不可能实现。所以，制动装置的重要作用一方面在于使列车在任何情况下都可减速或停车，确保行车安全；另一方面它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。列车的制动能量与行驶速度成二次方关系，速度200~300 km/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，首先要看其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。

任务二 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，制动技术逐步发展为空气制动。我国旅客列车空气制

动机最早使用L3型客车制动机。L3是一种客车三通阀，中华人民共和国成立后对其进行改造命名为GL3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年通过原铁道部的技术鉴定，在客车上得到全面推广使用，从此GL3型三通阀停止生产。1989年原铁道部又通过F8型客车分配阀技术鉴定，104型和F8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、独轨等车辆上。

我国20世纪60年代末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气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GL3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GL3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发展，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。从20世纪70年代开始，由长春客车厂与铁道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：列车导线传递脉宽调制（PWM）控制信号，手控15级，自动驾驶64级，车辆制动机解码，电气制动优先，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，动力制动系统的制动力在制动初期上升较慢，而在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上，

与控制动力制动能力的充分运用上存在着改进的空间，而且在实践中，控制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。

小贴士

中国铁道科学研究院是中国铁路唯一的多学科、多专业的综合性研究机构，目前已发展成为集科技创新、技术服务、成果转化、咨询监理、检测认证、人才培养等业务为一体的大型科技型企业。中国铁道科学研究院始建于1950年；2000年开始由事业单位转制为企业单位；2007年更名为中国铁道科学研究院。

我国已修建了几千千米城市轨道交通线路。这些轨道交通线路上的轨道交通车辆的制动系统大都采用微机控制直流电空制动系统。其原理基本相同，但在具体的实施方法上有所区别，主要有以下几种形式。

(1) 以上海地铁和广州地铁1、2号线为代表的德国KNORR（克诺尔）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。而空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型车上采用较多的是日本NABCO（纳博克）公司生产的HRDA型数字指令式制动系统。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空气制动控制单元集成在一起，固定于车辆底架下面。空气制动控制单元较为简单，在武汉轻轨和重庆单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号线为代表的英国原Westinghouse制动机公司（现为KNORR英国子公司）的微机制动直通电空制动系统。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、空气制动控制单元、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转换采用四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KP2002制动系统。该系统目前得到了广泛应用。所谓架控式，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的空气制动控制，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制动系统的用户。

(5) 我国架控式EP09制动系统。广州地铁公司与铁道科学研究院在2008年12月开始研制开发的架控式EP09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。

(6) 法国法维莱公司设计生产的车控式EPAC Lite和架控式EPAC制动系统。该系统用于我国上海地铁6号线、8号线、13号线，深圳地铁4号线，南京地铁南延线，哈尔滨地铁1号线上。EPAC2制动系统是基于单管的电空制动系统。该系统可以实现车控和架控两种方案。EPAC2是一个紧凑的制动单元，能根据收到的制动命令实现电空常用制动和紧急制动。

(7) 中车集团株洲机车厂和美国西屋制动机公司联合研制的车控式ERV制动系统和架控式IERV制动系统。该制动系统首次在我国城市轨道交通车辆上批量使用，其中ERV制动系统已应用于我国长沙地铁2号线车辆上，经过运用考验，完全满足我国地铁车辆的制动需要。



视野拓展

早期的人工制动系统时代

城市轨道交通最早在英国开始出现。1863年，伦敦市中心环路下面修建隧道，想让蒸汽或内燃火车在市中心的地下通行，但是火车的烟雾在隧道中弥漫，尽管有通风井，但排放烟雾问题仍然难以解决。世界上第一辆有轨电车是1881年在德国柏林工业博览会期间展示出的在400 m长轨道上做往返示范运行的实验列车，紧接着1888年美国弗吉尼亚州的里士满市第一个投入商业运行的有轨电车产生，标志着城市轨道交通时代的来临。1890年，伦敦建成电力牵引的地下铁路，也就是真正意义上的第一条地铁。只有6.5 km的短途“大都市铁道”正式通车，第一年就运载了乘客950万人，为解决交通拥堵树立了成功的典范。

最早的城市轨道交通车辆制动系统是人工制动系统（1881年—20世纪初期），在早期的有轨电车和地铁当中使用。由于城市轨道交通车辆是沿用铁路车辆的，因此当时的城市轨道交通车辆制动系统基本和铁路车辆一样，任何铁路车辆制动新技术都会立即被应用于城市轨道交通车辆。

人工制动系统是以人力作为动力来源，用人力操纵实现制动和缓解作用的制动系统，也叫手制动系统。早期的城市轨道交通车辆，通过司机或制动员绞动制动钢丝，以手轮的转动方向和手力大小来操纵控制，每个车或几个车配备一名制动员，按司机笛声号令协同操纵，使木制的闸瓦靠紧车轮踏面，用摩擦力使车轮或车轴的转动减慢或停止，以达到车辆减速或停车的目的。所采用的机械装置还有杠杆拨动式闸瓦制动、手轮式棘盘链条制动等装置。这些制动系统和技术均采用当时的铁路车辆最新制动系统和技术。

人工制动系统的缺点是：方法比较原始，制动力弱，作用缓慢，可靠性差，既费力又不安全，时常会发生钢丝断裂和车辆失控事故。

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。二者的主要区别在制动指令的传输方式上。

数字式制动系统是将驾驶控制器或列车自动驾驶（ATO）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7级模板阀控制，即通过驾驶控制器发出的开关信号，控制3个电磁阀不同的开关组合，产生7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，通常是将驾驶控制器或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型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空气运算型等，空气制动与动力制动的混合使用比较困难，特别适用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，因而其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，能方便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、适应自动驾驶（ATO）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。采用模拟式制动系统应是我国地铁列车制动系统的发展方向。

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) 车辆停放时的制动由弹簧力提供，压缩空气缓解。

(4) 在电制动力不足的情况下，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) 在紧急制动过程中如果电制动失效，空气制动将代替电制动，且根据车辆载质量施加适量的空气制动。

(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，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。

任务三 城市轨道交通车辆制动机的种类

一、按照制动时列车动能的转移方式分类

按照制动时列车动能的转移方式不同，城市轨道交通车辆制动机可以分为摩擦制动机和动力制动机。

1. 摩擦制动机

摩擦制动机通过摩擦将列车的动能转变为热能，消散于大气中，从而产生制动作用。城市轨道交通车辆常用的摩擦制动机主要有闸瓦制动机、盘形制动机和轨道电磁制动机。

(1) 闸瓦制动机

闸瓦制动机又称踏面制动，是一种最常用的制动机，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。

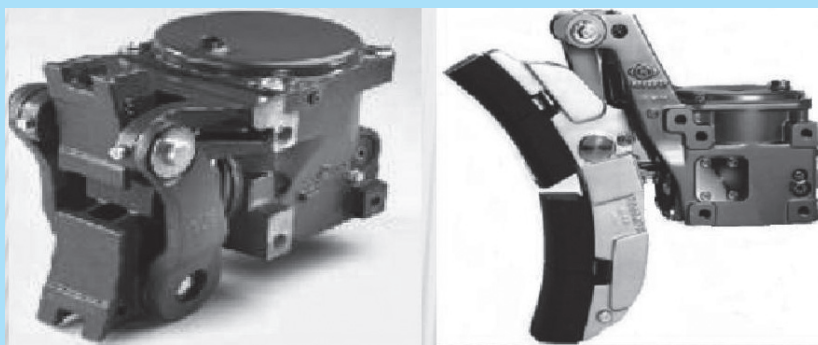
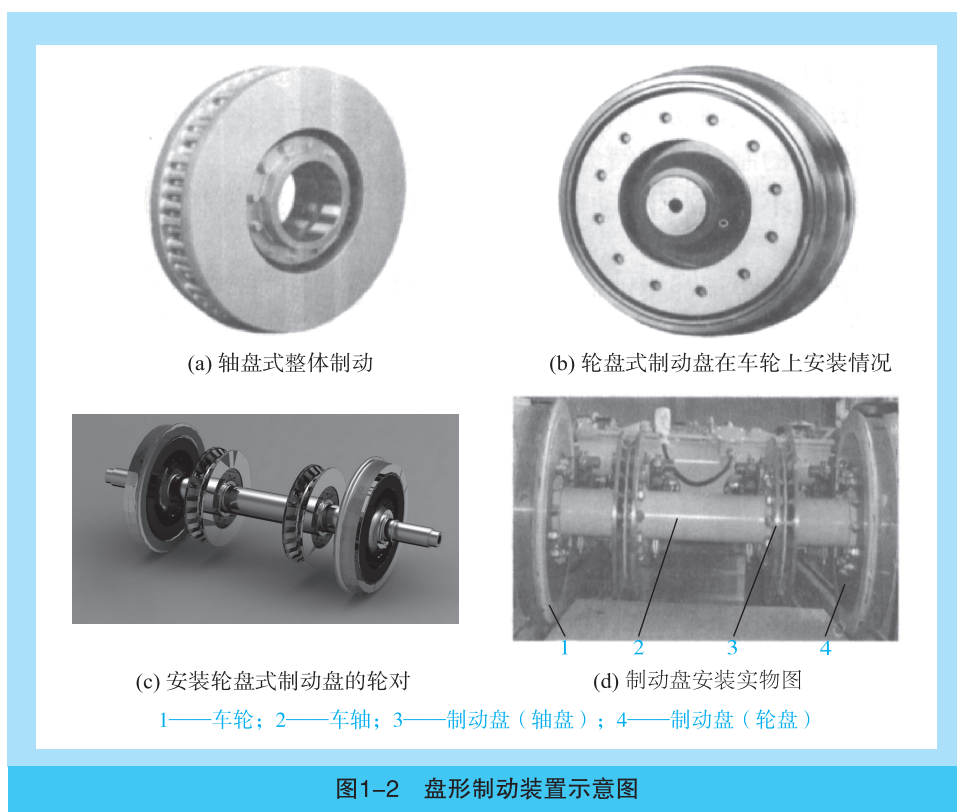


图1-1 城市轨道交通车辆上采用的单元风缸式闸瓦制动机

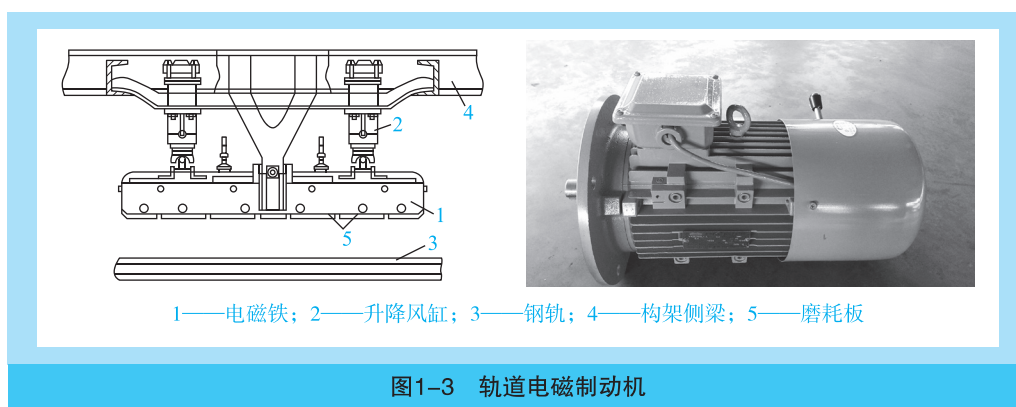
(2) 盘形制动机

盘形制动机（见图1-2）是在车轴上或在车轮辐板侧面安装制动盘，用制动夹钳使两个闸片（用合成材料制成）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的称为轴盘式；制动盘安装在车轮侧面的称为轮盘式。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) 轨道电磁制动机

轨道电磁制动机，又称磁轨制动机，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，电磁铁下设有磨损板，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。在高速旅客列车上将其与空气制动机并用（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100 km/h，该车组上装有轨道电磁制动机。



2. 动力制动机

动力制动机也称电制动机。列车制动时，将牵引电动机变为发电机，使动能转化为电能，对这些电能的不同处理方式形成了不同方式的动力制动。城市轨道交通车辆上采用的动力制动机的形式主要有再生制动机和电阻制动机，这些都是采用非接触式制动方式。

(1) 再生制动机

再生制动机是把列车的动能通过牵引电动机转变为发电机发电，再使电能反馈回电网，可给相邻运行的列车提供电能。显然，再生制动机比电阻制动机更加经济，既节约能源，又减少制动时对环境的污染，并且基本上无磨耗。因此，20世纪90年代后它在各国的动车组和城市轨道交通车辆上获得了广泛应用。

(2) 电阻制动机

电力机车、电传动的内燃机车、带动力驱动的动车组和城市轨道车辆（动车）等，在制动时，使自励牵引电动机变为他励发电机，将发出的电能消耗于电阻器上，采用强迫通风，使热量消散于大气而产生制动作用。高速行驶时制动力大，低速行驶时制动效率降低，所以与空气制动同时使用。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，从而增加了车辆的自重。

二、按照列车制动力的获取方式分类

按照列车制动力获取方式的不同，城市轨道交通车辆制动机可分为黏着制动机与非黏着制动机。

1. 黏着制动机

黏着制动时（以闸瓦制动机为例），车轮与钢轨之间有如下三种可能的状态。

(1) 纯滚动状态

纯滚动状态，即车轮与钢轨的接触点无相对滑动，车轮在钢轨上做纯滚动。这时，车轮与闸瓦之间为动摩擦，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

滑行状态，即车轮在钢轨上滑行，此时车轮与钢轨之间的摩擦为列车制动力。这是一种必须避免的事故状态，由于滑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

列车制动时，车轮与钢轨的接触处既非静止，也非滑动，车轮在钢轨上滚动的同时又有滑动趋势，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。制动时，可能实现的最大制动力不会超过黏着力。黏着力与轮轨间垂直荷载的比值，称为黏着系数。依靠黏着滚动的车轮与钢轨黏着点之间的黏着力来实现车辆制动，称为黏着制动。黏着制动时，为了能获得较大的制动力，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、轮轨表面状态以及是否采取增大黏着措施等诸多因素的影响，是一个有很大离散性的参数。所以，目前尚未有统一的黏着系数的理论计算公式。轮轨间的黏着系数随列车运行速度的提高而下降，各国都采用大量的试验来获得经验公式，比如日本新干线的黏着系数公式为：

$$\psi=27.2/(v+85) \quad (\text{干燥表面}) \quad (1-1)$$

$$\psi=13.6/(v+85) \quad (\text{潮湿表面}) \quad (1-2)$$

日本既有线黏着系数公式为：

$$\psi=0.24 \times (1-0.0078v) / (1-0.24v) \quad (1-3)$$

式中： v ——列车运行速度，km/h。

铁道科学研究院在进行了大量的试验研究后，提出了我国干线列车（速度120 km/h以下）的黏着系数公式为：

$$\psi=0.0624+45.6/(v+260) \quad (\text{干燥表面}) \quad (1-4)$$

$$\psi=0.0405+13.55/(v+120) \quad (\text{潮湿表面}) \quad (1-5)$$

式中： v ——列车运行速度，km/h。

随着机车车辆技术的发展，该公式会有所变化。

2. 非黏着制动机

列车制动时，制动力大小不受黏着力的限制，称为非黏着制动。由于系统制动力不从轮轨之间获取，因此它可以获得较大的制动力。

显然，在上面介绍的制动机种类中，闸瓦制动机、盘形制动机、电阻制动机和再生制动机均属于黏着制动机；而磁轨制动机属于非黏着制动机。

三、按照制动源动力分类

在目前列车所采用的制动方式中，制动机的原动力主要有压缩空气的压力和电磁力。以压缩空气为原动力的制动机称为空气制动，如闸瓦制动机、盘形制动机等；以电磁力为原动力的制动机称为电制动机，如动力制动机、轨道电磁制动机、轨道涡流制动机、旋转涡流制动机等。此外，还有机械制动机、液流制动机、翼板制动机等。

1. 自动空气制动机

自动空气制动机是以压缩空气为动力来源，用空气压力的变化来操纵的制动机，其应用最为广泛。我国的机车车辆均采用这种制动机。

自动空气制动机的特点是制动管减压制动，增压缓解。因此，当列车分离时，制动机

可发生制动作用，实现自动停车。这种制动机的构造和作用都比较完善，目前我国车辆上使用的各型空气制动机，如货车用120型制动机和客车用104型、F8型制动机等，都采用这种形式。

2. 电空制动机

电空制动机是以压缩空气作为动力来源，用电操纵的制动机。一般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。它可以提高列车前后部车辆制动和缓解作用的一致性，减少车辆间的冲击，使制动距离显著缩短，所以，许多高速列车都采用这种制动机。为防止电控系统发生故障使列车失去制动控制，现今的电空制动机仍保留着压缩空气操纵装置，这样在电控系统发生故障时能自动地转为压缩空气操纵。目前，我国铁路客车使用的电空制动机主要有104型电空制动机和F8型电空制动机两种形式。城市轨道交通车辆电空制动机有KBGM（德国KNORR公司）和KBWB（英国原Westinghouse公司）模拟式电空制动机、架控式EP2002和EP09制动机等。

3. 轨道涡流制动机

轨道涡流制动机与磁轨制动机很相似，也是把电磁铁悬挂在转向架侧梁下面同侧的两个车轮之间。不同的是，轨道涡流制动机的电磁铁在制动时只放到离轨道面7~10 mm处，而不会与钢轨发生接触。轨道涡流制动原理如图1-4所示。轨道涡流制动是利用电磁铁和钢轨的相对运动使钢轨感应出涡流，产生电磁吸力作为制动力，并把列车的动能转换为热能消散于大气。作为非黏着制动方式的轨道涡流制动具有对钢轨无磨耗、高速时制动力大；制动力可控制，可使常用制动的作用在结冰时没有任何失效的危险等优点。因此，在高速列车上，涡流轨道制动机比磁轨制动机得到更多的采用。如德国300km/h的ICE3型高速动车组的拖车每台转向架上就采用了两组涡流轨道制动机及两组轴盘式铸钢盘形制动机，上海磁浮列车的制动控制系统采用的是轨道直线涡流制动机。

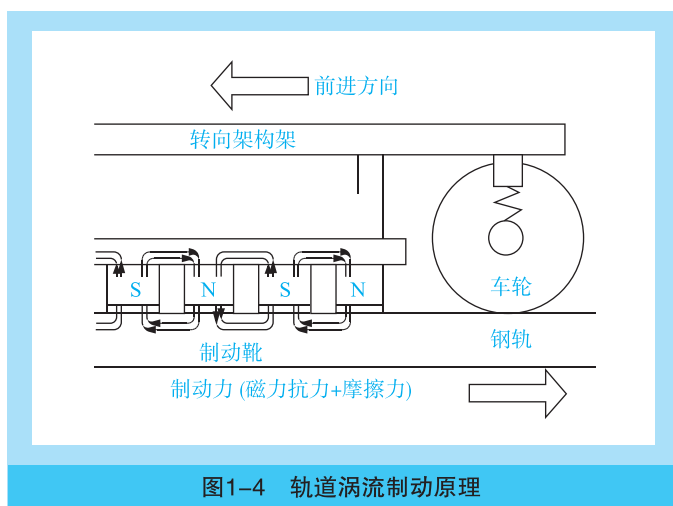


图1-4 轨道涡流制动原理

4. 旋转涡流制动机

旋转涡流制动机是利用电磁感应产生制动力，将制动圆盘作为可旋转的导体安装在车轴上，电磁铁固定在转向架上，并应防止其转动。旋转涡流制动原理如图1-5所示。制动时金属盘在电磁铁形成的磁场中旋转，盘的表面被感应出电涡流，产生电磁吸力，金属盘上产生的电磁吸力与其转动方向相反，从而产生制动作用。这种制动方式广泛应用于日本新干线100系、300系和700系动车组的拖车上。

小贴士

新干线：是贯通日本全国（除四国岛）的高速铁路系统，其首条线路于1964年开通运行，不仅是当今世界上先进的高速铁路系统之一，还是世界上最早进行旅客运输的高速铁路系统。可以说，诞生于20世纪下半叶的日本新干线，是世界高速铁路的先驱，和法国TGV（法国高速铁路）、德国ICE（城际特快列车）、中国CRH（中国铁路高速）一起，并列为世界高铁四巨头，为包括中国在内的其他尚未或正在发展高速铁路的国家积累了丰富的经验，并有偿转让了部分技术于这些国家，以帮助其更快、更方便地发展高速铁路系统。

5. 液压制动机

为了确保行车安全，在高速动车组上都装有传统的空气制动系统。但是空气制动系统有质量大、体积大和响应速度慢等缺点。为了实现轻量化和高响应特性，而将空气制动部件改进为液压部件。液压制动的控制过程如图1-6所示。制动电子控制单元将制动指令、电制动的反馈信号和液压传感器信号进行计算、处理。液压制动系统由装在车体上的制动电子控制单元和装在转向架上的电液制动装置构成。与空气制动相比，质量可减小1/3左右。如北京地铁机场线采用电液盘型制动机和磁轨制动机混合制动，电制动优先。

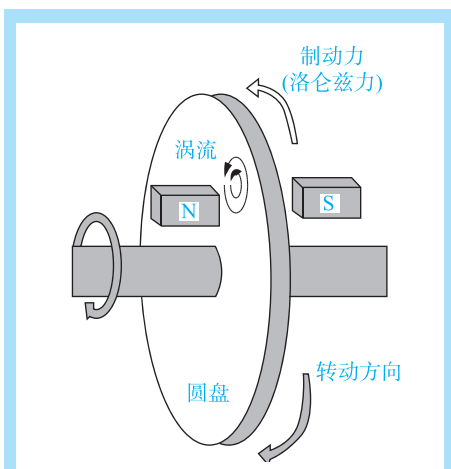


图1-5 旋转涡流制动原理图

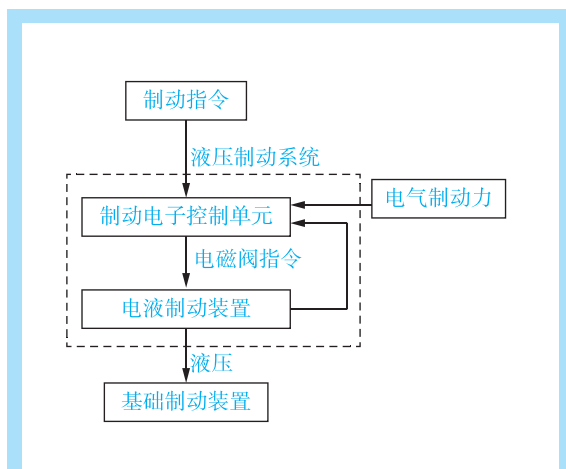


图1-6 液压制动的控制过程

6. 翼板式空气制动机

翼板式空气制动机尚处于试验之中，采用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。2006年日本研制出利用空气阻力制动的Fastech 360S型和其改进Fastech 360Z型制动机，并已通过时速400 km/h的安全测试，装有空气阻力制动装置的列车，制动距离在时速360 km/h与时速275 km/h时大致相同。



视野拓展

国外城市轨道交通车辆制动系统简介

1. 日本NABCO制动系统

日本NABCO制动系统主要指NABCO的HRDA型电空制动系统，1992年投入应用，是一种传统的直通电空制动系统。在我国，该电空制动系统主要应用于北京和天津的城市轨道项目。HRDA型电空制动系统的制动控制单元包括制动电子控制装置和气动控制装置两部分：电子控制装置为储有定制程序的标准机箱；气动控制装置主要由电空中继阀、空重车调整阀和气路板等组成。

该系统制动电子控制装置主要包括制动控制、防滑控制、通信及显示三个部分。制动控制可接收列车制动控制线的PWM制动指令，进行空气和电制动的混合制动计算，控制电空中继阀上电空转换（EP）阀的电流，实现对制动缸的预控压力控制；防滑控制可以测定各车轴的速度，一旦检测到有车轮滑行，便控制防滑阀降低滑行轴的制动缸压力，使滑行车轮恢复到正常的黏着状态；通信及显示用于与TMS通信及故障诊断信息的显示与存储。

制动气动控制装置主要由电空中继阀、空重车调整阀、压力传感器和气路板等组成。其中电空中继阀包括电空转换（EP）阀、紧急电磁阀和中继阀。常用制动时空气制动力是通过电空转换（EP）阀对预控压力进行控制，然后再由中继阀进行流量放大，产生与预控压力相对应的制动缸压力。紧急制动为纯空气制动模式，当接收到紧急制动指令时，使空重车调整阀调整后的紧急制动预控压力直接由紧急电磁阀进入中继阀，产生能随载荷调整的紧急制动缸压力。整个气动控制装置采用模块化设计。各种阀安装在一块内部气路连接的集成气路板上，并与电子控制装置组装后可吊装在车体上的制动控制箱内。

2. 德国KNORR制动系统

德国KNORR制动系统主要指KNORR的ESRA电空制动系统。该电空制动系统是一种标准化的制动系统，是传统的直通电空制动系统，可用于机车、动车组和城市轨道交通等项目。该电空制动系统于1993年研发，1995年投入应用。在我国，该电空

制动系统主要应用于上海、广州、北京和天津等的地铁项目。KNORR的ESRA制动系统的制动控制单元包括制动电子控制装置和气动控制装置两部分：电子控制装置为储有定制程序的标准机箱，主要由包括微处理器的主电路板、辅助电路板和通信板组成；气动控制装置主要由电空模拟转换（EP）阀、紧急电磁阀、中继阀、空重车调整阀和气路板等组成。

ESRA的制动电子控制装置和气动控制装置可分别安装也可集中安装，安装方式及位置根据客户要求。常用制动时，输入电空转换模块的电控信号基于制动指令进行了载荷调整和冲动限制；电空转换模块输出的预控压力须通过紧急阀和空重车调整阀，然后进入中继阀。紧急制动时，紧急电磁阀失电使总风不经电空转换模块直接进入空重车调整阀，产生一个经载荷调整的紧急预控压力，通过中继阀给制动缸施加紧急制动压力。

3. 英国WESTINGHOUSE制动系统

英国WESTINGHOUSE制动系统主要指英国WESTINGHOUSE（现为KNORR英国子公司）的EP2002电空制动系统，是一种基于架控的城市轨道直通电空制动系统。该电空制动系统于2000年开始研发，2005年装车应用。在我国，该电空制动系统主要应用于上海、广州、北京的地铁项目。EP2002电空制动控制单元包括一系列高度机电一体化的制动控制阀，即网关阀（gateway valve）、扩展阀（RIO valve）和智能阀（smart valve）。网关阀主要用于制动网络控制和本车制动控制，扩展阀主要用于本车制动控制和扩展电气连接，智能阀用于本车制动控制。

该系统的各阀体结构在部件级只能拆分成数百个具有基本结构体的单独零件（螺杆、垫片等）；反之，这些零件必须装配起来才构成EP2002电空控制阀。因此，维修时需彻底分解，对维修条件有很高的要求。

4. 法国SABWABCO（FAIVELEY）的EPAC制动系统

EPAC制动系统包括基于架控的EPAC电空制动系统和基于车控的EPAC Lite电空制动系统。该电空制动系统于2000年开始研发，2003年装车应用。在我国，该电空制动系统（EPAC Lite）主要应用于上海轨道交通等项目。与电空制动系统相对应，EPAC制动控制单元主要分两类：一是用于架控的EPAC制动控制单元，二是用于车控的EPAC Lite制动控制单元。

EPAC Lite制动控制单元衍生于基于架控的EPAC制动控制单元，采用模块化结构，它包括了轨道车辆摩擦制动用所有标准模块。各种模块（如常用制动控制模

块、停放制动控制模块等)经有机组合后形成基于项目的不同配置。EPAC Lite是一个高度集成的电空制动单元,由多个标准化的小型气动元件、安装板和微机电控装置等组成,并集成在一个封闭的箱体内部。制动风缸、空簧压力和停放风缸等为EPAC Lite的输入气路,其输出气路与制动缸和停放制动缸等相连,EPAC Lite的微机电控装置集成在内部,不需要另加制动电子控制装置。该微机电控装置使系统能响应及处理制动指令和大量的系统外界参数。从维护来说,EPAC Lite是一个在线可替代单元,方便现车维护,实现了列车下线时间最小化。EPAC Lite设有停放制动模块,停放制动由列车线来控制,是基于车辆的停放制动控制。

四、按照总体控制方式分类

按照总体控制方式,城市轨道交通车辆制动机分为车控式制动机、架控式制动机、轴控式制动机3种形式。下文具体介绍前两种方式。

制动系统制动力的控制以单辆车、转向架或者车轴为最小单元进行控制,称为总体控制。制动过程中,根据制动力最小控制单元的不同,对应的控制方式也不一样。以单辆车、转向架或车轴为制动力控制最小单元,分别称作车控式制动机、架控式制动机、轴控式制动机。例如,车控式制动机是指进行制动力控制的系统制动力以车为控制单元进行计算和控制,而架控式制动机则以转向架为单元进行控制。车控式制动机为当前高速列车和城市轨道交通车辆制动机的主流;架控式制动机以EP2002和EP09为典型。

1. 车控式制动机

图1-7所示为车控式制动机系统示意图,图1-8所示为车控式制动机系统原理图。

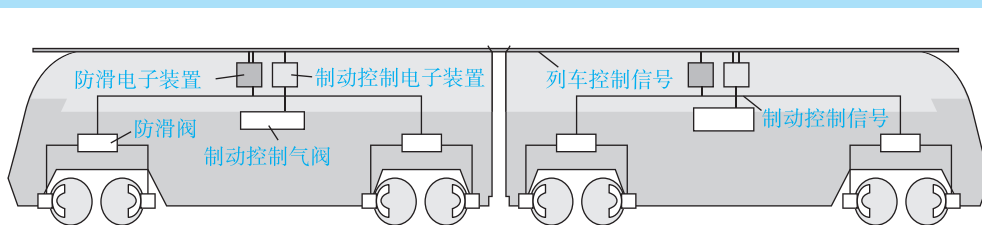


图1-7 车控式制动机系统示意图

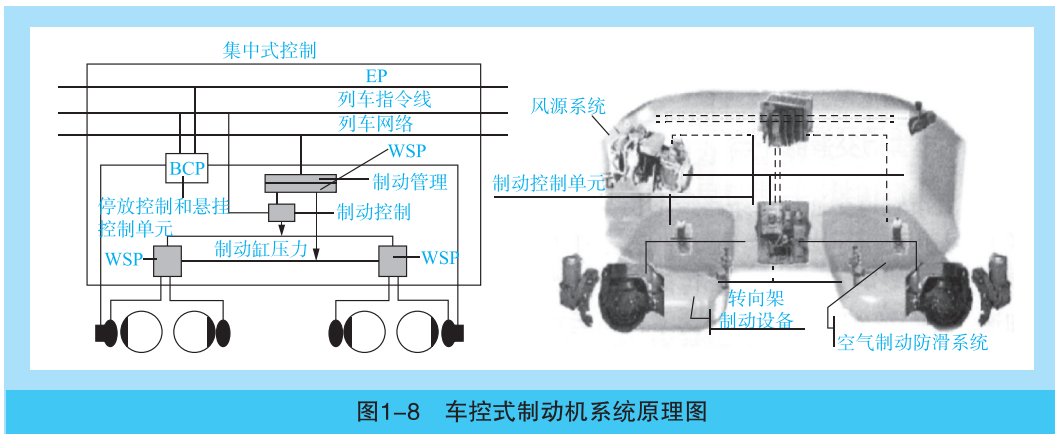


图1-8 车控式制动机系统原理图

车控式（集中式）制动机包括集中气动控制、集中电子控制和本车转向架气动控制阀。制动控制的实现是由一个电子控制单元（包括制动控制电子装置和防滑电子装置）控制一节车的两个转向架。

2. 架控式制动机

架控式制动控制的实现是由一个电子控制单元控制一个转向架（见图1-9）。如德国克诺尔公司生产的EP002制动系统以及铁道科学研究所与广州地铁公司共同研制的EP09制动机都是采用架控式。

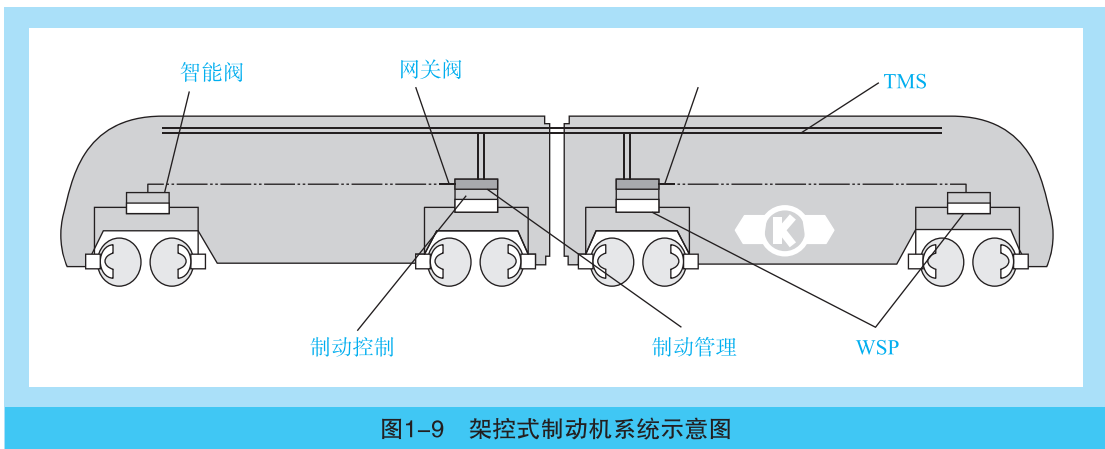


图1-9 架控式制动机系统示意图

架控式（分布式）制动机将制动控制和带气动阀的制动管理电子装置结合在每个转向架上的单个机电一体化包（EP2002阀）中，如图1-10所示。

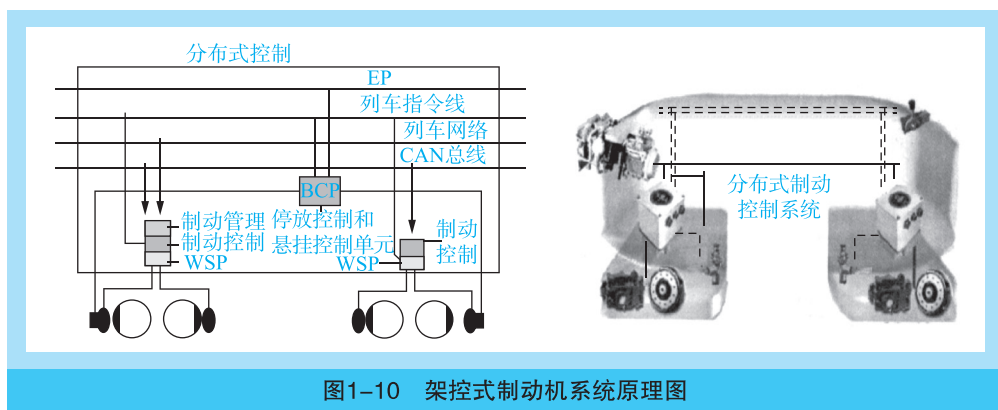


图1-10 架控式制动机系统原理图

任务四 城市轨道交通的特点和车辆制动系统应具备的条件

一、城市轨道交通的特点

(1) 城市轨道交通的每条路线不长，一般在20~30 km；站距很短，一般在1~2 km。如北京地铁1号线从四惠东站到苹果园站，全长31.04 km，有26座车站，平均站间距离1.194 km；而哈尔滨地铁1号线全长17.44 km，共有18座车站，平均站间距离不到1 km。由于站间距离短，列车加速、减速及停车比较频繁。为了提高运行速度，增加列车密度，必须使列车起动快、制动快、制动距离短。由于地铁车站一般设有屏蔽门，所以停车精度要求也高。这就要求车辆制动装置具有操纵灵活、动作迅速、停车平稳、准确、制动功率和制动力大等特点。

(2) 城市轨道交通列车的乘客量波动大，无乘客时仅车辆自重，相对来说是比较轻的。为了降低能耗，车辆车体的材质采用铝合金和薄壁不锈钢型材，所以自重较小。而车辆坐、立乘客均满载时总质量却很大，乘客在总质量中占相当份额，如地铁系统的A型车辆定员为310人，而在超员的情况下（ AW_3 工况下， $9\text{人}/\text{m}^2$ ）每节车辆装载旅客达430人左右。因此，乘客量对车辆总质量有较大的影响，容易引起制动效能的变化。而制动效能又是表征制动能力的重要参数，制动效能如变化大，对列车制动时保证一定的减速度、防止车轮滑行及减轻车辆间纵向冲动都是不利的。因此，在城市轨道交通动车组制动系统中都设有空重车自动调整装置，使制动系统具备在各种载客的工况下使车辆制动效能基本恒定的性能。

(3) 城市轨道交通电动列车在部分车辆甚至所有车辆上装有独立的牵引电动机，这就为

采用电制动提供了基本条件。电制动功率大，尤其是在较高速度范围内，能承担大部分的制动负荷，可以满足城市轨道交通车辆轴制动功率大的要求；电制动是非摩擦制动，没有摩擦副零件的磨损和噪声，减少了维护费用和对环境的污染，因而比较经济；使用再生制动可以节约能源，具有一定的经济和社会效益，所以采用电制动具有积极的意义。但电制动在低速时制动力小，而且要保证在电制动失效和紧急情况下的行车安全，又要满足停车和停放的要求，所以摩擦制动是一种必备的制动方式。在几种制动方式同时安装和使用，要充分发挥它们的最佳作用，需要一套完善的制动控制装置来控制，使它们协调配合。

(4) 城市轨道交通行车密度大，乘客要求候车时间短且快速安全，运营时间长，留给轨道交通线路和车辆的检修作业的时间很短，因而采用较强的轨道结构部件，采用整体道床的较多。车辆的日常维修（日检）一般都在夜间进行。

(5) 我国拥有轨道交通的城市都是国际化程度较高、社会经济发展较快、人口密度较大（城区人口在300万人以上）、城市交通出行存在一定困难的城市。如我国的北京、天津、上海、广州等城市的城市轨道交通发展得比较早。正在建设城市轨道交通的城市有南京、深圳、重庆、武汉、长春、青岛、大连、沈阳、西安、长沙、哈尔滨、杭州、苏州、温州等。

小贴士

人口密度：单位土地面积上的人口数量。通常使用的计量单位有两种：人/平方米；人/公顷。它是衡量一个国家或地区人口分布状况的重要指标。

二、城市轨道交通车辆制动系统应具备的条件

- (1) 操纵灵活，制动减速度大，作用灵敏可靠，车组前后车辆的制动、缓解一致。
- (2) 具有足够的制动能力，保证车组在规定的制动距离内停车。
- (3) 对新型的城市轨道交通车辆，一般要求具有电制动功能，并且在正常制动过程中，应尽量充分发挥电制动能力，以减少对城市环境的噪声污染和降低运行成本。同时，还应具有电制动与摩擦制动协调配合的制动功能。
- (4) 制动系统应保证列车在长大下坡道上制动时，其制动力不会衰减。
- (5) 电动车组各车辆的制动能力应尽可能一致，制动系统应根据乘客数量的变化，具有空重车调整能力，以减少制动协调配合的制动功能。
- (6) 具有紧急制动能力。遇有紧急情况时，能使列车在规定距离内安全停车。紧急制动作用除可由驾驶员操纵外，必要时还可通过行车人员利用紧急按钮进行操纵。

(7)城市轨道交通列车在运行中发生诸如列车分离、降弓、断电、制动系统故障等危及行车安全的事故时,应能自动启动紧急制动装置。

项目小结

本项目系统阐述了城市轨道交通车辆制动系统的基本知识。首先介绍了制动的基本概念和制动系统的重要作用,简要阐述了城市轨道交通车辆制动系统的发展历程,重点对城市轨道交通车辆制动机的种类进行了详尽的描述,最后对城市轨道交通的特点和车辆制动系统应具备的条件作了简要的介绍。

学习检测

一、填空题

(1) 当以压力空气作为制动信号()和()控制的介质时,该制动装置称为(),又称()。

(2) 指令和通信网络系统,既是传送()的通道,也是制动系统()交换及()与列车控制系统进行()的总线。

(3) 对轨道交通机车车辆而言,()是制动时由()产生作用后而引起的()与()相反的力。

(4) 能力强大的制动装置对于保证列车()、()、()有着至关重要的意义。

(5) 由于制动指令是()传输的,能对()精确控制,所以能更好地适应列车()的要求。

二、问答题

(1) 现代轨道交通车辆的制动系统是由哪三部分组成的?

(2) 常用的地铁制动系统主要有数字式和模拟式两种形式,二者的主要区别是什么?

(3) 地铁车辆一般制动设计的原则有哪些?

(4) 一套列车制动装置至少包括哪两个部分?

