



城市轨道交通系列教材

# 城市轨道交通列车制动

CHENGSHI GUIDAO  
JIAOTONG LIECHE ZHIDONG

王月明 著



科学出版社

城市轨道交通系列教材

# 城市轨道交通列车制动

王月明 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书介绍了城市轨道交通系统中地铁与轻轨列车（电动车组）的制动技术，涉及制动概念、制动设备、制动控制、制动计算、制动产品等内容，较完整地介绍了地铁与轻轨列车的制动技术。本书强调基本概念和专业术语，注重层次划分，其中第1~5章为制动的基础知识，第6~11章可以作为与前5章的对照，读者可以直接进入其中的章节对制动产品进行学习。

本书可作为高等院校车辆工程专业城市轨道交通车辆方向（地铁与轻轨）的教材，或作为铁路机车车辆专业方向、动车组方向的教学参考书，也可供铁路相关专业及铁路有关部门的工程技术人员学习和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

城市轨道交通列车制动 / 王月明著. —北京：科学出版社，  
2014.7

ISBN 978-7-03-041291-1

I. ①城… II. ①王… III. ①城市铁路-轨道交通-列车-车辆  
制动-高等学校-教材 IV. ①U260.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 138305 号

---

责任编辑：杨 岭 于 楠 / 封面设计：墨创文化

责任校对：赵鹏利 / 责任印制：余少力

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014年7月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2014年7月第一次印刷 印张：16 1/4

字数：400千字

定价：36.00元

## “城市轨道交通系列教材”编委会

主 编	蒋葛夫	翟婉明		
副 主 编	阎开印			
编 委	张卫华	高 波	高仕斌	
	彭其渊	董大伟	潘 炜	
	郭 进	易思蓉	张 锦	
	金炜东			

# 前 言

在长期的国产化进程中，制动技术与牵引技术、列车网络、列车自动控制技术等成为重点和难点。作者多年来在本科生、研究生层次开设了城市轨道交通列车制动的相关课程，也从事过地铁和轻轨交通系统在论证和建设过程的一些具体工作，在这些过程中，深切感受到人们对于学习新产品、新技术的渴望和掌握其技术的迫切要求，由此作者响应并参加“城市轨道交通系列教材”的建设计划，促成了本书的编写。

地铁列车是由电动车组构成的，轻轨列车可以看成编组较短的电动车组，单节轻轨车或有轨电车可以看成是电动车组的特例。电动车组是由动车和拖车组成的固定编组，从技术构成来看，不同于机车车辆，但具有相同的构造原理。从运用来看，又是新的方式，必然具有一系列的特点。作为电动车组的制动系统，也是因电动车组的总体构成特点而随之带有其自身特点，如编组固定，不存在机车及其单机走行，也就没有单独制动及其单独制动阀的概念；采用密接车钩，也就降低了关于纵向冲动的各种因素限制；又如制动系统采用电气指令，也就没有减压（量）的概念；采用微机控制，也就没有电制动的人工操纵等。电动车组制动与传统制动机的不同，还体现在电动车组制动系统不再像传统的制动产品那样在机车车辆上相对独立，而是与其他部分的联系更密切，如与列车自动控制（ATC）系统车载设备、与空气弹簧悬挂、与牵引变流器、与列车网络等。电动车组的制动系统不但在技术构成上有其特点，而且在与此相关的如研究、设计制造、运用维修等各种环节上，也会因为这种关联度的加大而产生深远影响。强调以上这些内容，对于初学者而言，可以突出列车制动特点；对于具备机车车辆制动机知识及维修经验的技术人员而言，则可以抓住主要问题，避免混淆。深入到每个知识点上，电动车组制动系统包括具体到空气阀类的器件，从原理上是相对简单、容易理解的。复杂的、灵活多变的東西主要隐含于制动控制软件、列车网络及整车的控制电路中。

鉴于此，作者建议读者关注电动车组的特点、电动车组的编组特点、列车网络的基本构成和功能、牵引传动系统，注意电动车组制动系统与其他系统的关联。

传统的机车车辆制动机（阀）仅作为对照，不进行具体介绍。

本书原稿曾作为课程讲义在教学中多次使用，并在多方支持下不断补充修改。在本次编写过程中，得到了有关地铁部门的大力支持和帮助，对此作者表示衷心感谢！

为本书进行部分数据计算的有李伟、廖志坚、李亮、李受钊、王宗明等，在此作者表示衷心感谢！

鉴于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在疏漏，敬请读者指正。

# 目 录

<b>第 1 章 制动概述</b> .....	1
1.1 制动的作用 .....	1
1.2 制动的常用术语 .....	1
1.2.1 制动术语 .....	1
1.2.2 本书涉及的相关术语 .....	3
1.3 制动力的产生 .....	5
1.3.1 制动力的描述 .....	5
1.3.2 制动力的产生 .....	5
1.4 制动方式 .....	6
1.4.1 按电动车组动能转移方式分类 .....	6
1.4.2 按制动力获取方式划分 .....	7
1.4.3 按制动源动力分类 .....	7
1.5 制动发展简述 .....	7
1.6 制动新技术 .....	9
1.6.1 磁轨制动 .....	9
1.6.2 轨道涡流制动 .....	13
1.6.3 储能制动 .....	14
1.6.4 发展中的制动技术 .....	19
<b>第 2 章 制动设备</b> .....	22
2.1 制动系统的类型 .....	22
2.1.1 制动系统的类型 .....	22
2.1.2 制动系统的总功能 .....	23
2.1.3 制动系统的总体性能 .....	24
2.2 制动系统的组成 .....	26
2.2.1 制动指令装置 .....	27
2.2.2 制动控制装置 .....	29
2.2.3 基础制动装置 .....	29
2.2.4 制动供风系统 .....	29
2.3 制动系统的功能设置 .....	29

2.4	制动指令装置与信息传输设备	30
2.5	基础制动装置简介	31
2.5.1	基础制动装置的组成	31
2.5.2	斜楔式踏面制动单元实例	32
2.5.3	杠杆式踏面制动单元实例	35
2.6	制动供风系统简介	37
2.6.1	供风系统组成	37
2.6.2	空气压缩机	37
2.6.3	空气压缩机的启停控制	42
<b>第3章</b>	<b>制动控制器件</b>	<b>43</b>
3.1	制动指令装置	44
3.1.1	司机制动控制器	44
3.1.2	备用制动控制器	45
3.1.3	回送制动控制板	45
3.2	空气流动控制阀	46
3.2.1	截止阀	46
3.2.2	止回阀	47
3.2.3	双止回阀	48
3.2.4	电磁阀	50
3.2.5	差压阀	53
3.2.6	安全阀	55
3.2.7	压力测试口	55
3.2.8	其他管路附件	56
3.3	空气压力变送器件	57
3.3.1	压力传感器	57
3.3.2	压力变送器	58
3.3.3	压力继电器	58
3.3.4	平均阀	59
3.4	空气压力控制阀	59
3.4.1	气压控制阀	61
3.4.2	机械控制阀	65
3.4.3	电磁控制阀	69
3.5	阀类符号及空气管路图表示方法	72
3.5.1	阀类符号	72
3.5.2	空气管路图表示方法	72
<b>第4章</b>	<b>制动控制原理</b>	<b>74</b>
4.1	制动控制的要求	74
4.1.1	对制动控制的要求	74

4.1.2	制动控制系统的类型、范围、命名	76
4.2	制动指令的形成及传输	78
4.2.1	数字式制动指令	78
4.2.2	模拟式制动指令	80
4.2.3	数字式制动指令的传输	80
4.2.4	模拟式制动指令的传输	82
4.2.5	制动指令的形式及内容	84
4.2.6	指令模式与制动控制模式	84
4.3	制动力的计算与控制方法	86
4.3.1	制动力的计算	86
4.3.2	制动力的控制流程	86
4.3.3	制动力控制模式	87
4.3.4	制动冲击率控制	88
4.3.5	制动力调整与定速模式	89
4.3.6	制动力调整与停车位置控制	89
4.4	空电复合控制	90
4.4.1	电制动与空气制动的控制方式	90
4.4.2	复合制动控制原则	90
4.4.3	复合制动力的控制方法	91
4.5	直通式空气制动控制	95
4.5.1	模拟型 EP 阀的控制	95
4.5.2	开关型 EP 阀的控制	100
4.5.3	开关型 EP 阀的特点	101
4.5.4	模拟型 EP 阀和开关型 EP 阀的比较	101
4.5.5	快速制动	102
4.5.6	紧急制动的两段压力控制	102
4.6	防滑控制	104
4.6.1	防滑控制的必要性	104
4.6.2	防滑控制设备组成原理	105
4.6.3	滑行检测	105
4.6.4	滑行控制	107
4.6.5	防滑阀原理	107
4.6	制动系统与 ATC 车载设备接口	109
4.6.1	采用继电器接口	110
4.6.2	数字信号接口	110
<b>第 5 章</b>	<b>制动计算与仿真</b>	<b>111</b>
5.1	制动系统的性能与参数	111
5.1.1	制动系统的性能参数及相关运用参数	111



5.1.2	制动系统性能计算命题	113
5.1.3	制动系统性能计算方法	113
5.2	制动能力的计算	114
5.2.1	制动力	114
5.2.2	制动率	115
5.2.3	制动功率	116
5.2.4	制动减速度	118
5.2.5	制动力上升时间	118
5.2.6	闸瓦平均摩擦系数	120
5.3	制动距离的计算	120
5.3.1	制动 V-S-T 问题的基本算法——分析计算法	120
5.3.2	制动 V-S-T 问题的简化算法——等减速度法	121
5.3.3	制动空走距离与空走时间	122
5.3.4	制动基本命题(V-S-B)的分析计算	127
5.4	制动粘着计算	128
5.4.1	制动粘着系数	128
5.4.2	粘着系数与减速度的关系	130
5.4.3	粘着系数与轮轨滑移率的关系	130
5.5	停放制动力的计算	131
5.5.1	停放制动力的需求计算	131
5.5.2	停放制动力的安全余量	131
5.5.3	坡道下滑的验算	132
5.6	基准速度计算	132
5.6.1	车轴速度的检测计算	132
5.6.2	基准速度的计算	133
5.6.3	轮径的补偿计算	134
5.7	制动仿真	135
5.7.1	制动控制系统仿真计算	135
5.7.2	制动防滑控制仿真	135
5.7.3	制动控制的正算与反算	140
5.7.4	制动控制器的逆向分析	141
5.8	制动应用中的问题计算	143
5.8.1	制动限速问题的分析计算	143
5.8.2	制动减速度问题	147
5.8.3	空气消耗量与充风时间	149
5.8.4	制动过程的能量分析	152
<b>第 6 章</b>	<b>SD 数字式电磁控制电空制动机</b>	<b>158</b>
6.1	SD 型制动机的组成及特点	158

6.1.1	系统组成 .....	158
6.1.2	主要器件 .....	159
6.1.3	基本特点 .....	160
6.2	制动控制原理 .....	161
6.2.1	动拖复合控制的气路图 .....	161
6.2.2	控制原理 .....	161
6.2.3	制动作用 .....	161
6.3	综合控制作用 .....	164
6.3.1	运转位 .....	164
6.3.2	常用制动位 .....	165
6.3.3	紧急制动位 .....	166
6.3.4	备用制动 .....	166
6.4	SD制动机的复合控制方式 .....	167
6.4.1	动车空电切换型 .....	167
6.4.2	动车微机空电复合控制型 .....	168
<b>第7章</b>	<b>HRA(HRDA)模拟(数字)式制动系统 .....</b>	<b>170</b>
7.1	HRA模拟指令式制动系统 .....	170
7.1.1	组成 .....	170
7.1.2	常用制动控制 .....	172
7.1.3	快速制动控制 .....	172
7.1.4	紧急制动控制 .....	173
7.1.5	停放制动控制 .....	173
7.1.6	防滑控制 .....	173
7.1.7	制动控制单元 .....	174
7.1.8	电子控制装置 .....	175
7.1.9	防滑控制 .....	184
7.2	HRDA数字指令式制动系统 .....	186
7.2.1	系统构成 .....	186
7.2.2	作用原理及功能 .....	187
7.2.3	电空转换中继阀 .....	196
<b>第8章</b>	<b>KBGM/ESRA数字式制动系统 .....</b>	<b>199</b>
8.1	KBGM数字指令式制动系统 .....	199
8.1.1	制动控制系统 .....	200
8.1.2	防滑系统 .....	201
8.2	ESRA制动系统 .....	201
8.2.1	系统组成 .....	202
8.2.2	制动原理 .....	203
<b>第9章</b>	<b>KBWB模拟式制动系统 .....</b>	<b>204</b>

9.1	脉冲宽度调制指令系统 .....	204
9.1.1	组成 .....	204
9.1.2	司机制动控制器 .....	204
9.1.3	编码器 .....	204
9.2	单元式制动控制关系 .....	205
9.3	制动控制电子单元 .....	207
9.3.1	译码器 .....	207
9.3.2	制动控制电子单元的功能 .....	207
9.4	电空制动控制模块 .....	208
9.4.1	空气制动控制板 .....	209
9.4.2	称重阀 .....	211
9.4.3	高度阀 .....	212
9.4.4	压力均衡阀 .....	212
9.4.5	防滑阀 .....	213
9.5	综合作用原理 .....	215
9.5.1	制动指令 .....	215
9.5.2	制动控制关系 .....	215
9.6	供风模块 .....	217
9.7	踏面制动单元 .....	218
9.7.1	基本构成 .....	218
9.7.2	动作原理 .....	221
9.8	应用情况 .....	222
<b>第 10 章</b>	<b>EPAC 模拟式电空制动系统</b> .....	<b>223</b>
10.1	EPAC(架控)电空制动系统 .....	223
10.1.1	制动控制系统 .....	223
10.1.2	防滑系统 .....	226
10.1.3	停放制动系统 .....	226
10.1.4	基础制动设备 .....	227
10.1.5	司机制动控制设备 .....	227
10.2	EPAC Lite 电空制动系统 .....	227
10.2.1	常用制动 .....	229
10.2.2	紧急制动 .....	229
10.2.3	防滑阀 .....	229
10.2.4	停放制动 .....	230
<b>第 11 章</b>	<b>EP2002 模拟式电空制动系统</b> .....	<b>231</b>
11.1	系统概述 .....	231
11.2	EP2002 阀的功能 .....	232
11.2.1	智能阀 .....	232

11.2.2	网关阀 .....	233
11.2.3	RIO 阀 .....	234
11.3	EP2002 阀的内部组成及其作用 .....	235
11.3.1	外罩 .....	235
11.3.2	气动阀单元 .....	235
11.3.3	供电单元卡 .....	235
11.3.4	本地制动控制卡 .....	235
11.3.5	制动管理卡 .....	235
11.3.6	可选网络通信单元卡 .....	235
11.3.7	可选模拟 I/O 卡 .....	236
11.4	EP2002 阀与网络结构 .....	236
11.4.1	单元 CAN 总线网络结构 .....	236
11.4.2	单车 CAN 总线网络结构 .....	237
11.4.3	EP2002 阀与网络结构的构建规则 .....	237
11.5	EP2002 阀的气动阀单元 .....	238
11.6	EP2002 制动系统控制原理 .....	239
11.6.1	系统组成结构 .....	239
11.6.2	常用制动控制 .....	240
11.6.3	快速制动控制 .....	241
11.6.4	紧急制动控制 .....	241
11.6.5	停放制动控制 .....	241
11.6.6	停车保持制动 .....	242
11.6.7	防滑控制 .....	242
11.7	EP2002 制动机的特点 .....	243
11.7.1	EP2002 制动机的优点 .....	243
11.7.2	EP2002 制动机的缺点 .....	243
11.7.3	EP2002 制动机的应用情况 .....	244
<b>参考文献</b> .....		245

# 第1章 制动概述

城市轨道交通系统是一种旅客运输系统，简称客运系统。列车是轨道交通系统中的载运工具，也称为移动设备。列车的具体构成方式主要取决于列车的牵引方式，也就是列车中牵引动力的位置、数量及各车之间的关系。在干线铁路中，各种车辆编组形成一个车辆列，再由机车联挂而形成列车。

在城市轨道交通系统中，地铁列车主要以电动车组方式构成。电动车组是由一定数量的动车和拖车组成的固定编组。在运行和一般的维修中(大修除外)，整个编组不分解。轻轨系统因列车是编组运行而具有较大的灵活性，车辆型式上既有普通四轴车，也有六轴车、八轴车。所以，有些情况下列车就是一辆车，经常使用车辆的概念代替列车的概念，但在运输高峰时段两辆以上的车辆也可以联挂成列车。

在城市轨道交通的地铁和轻轨系统中，由于主要采用电气化铁路，列车采用电力牵引模式，所以列车是电动车组的形式；如果在某些城市轨道交通的市郊铁路中采用的是内燃机牵引模式，则列车是内燃动车组的形式。

要完成旅客运输，列车不仅要有牵引动力，即牵引传动系统，还要有制动系统，列车是在各种控制指令下由牵引与制动两个主要系统实现列车速度、距离等运动控制的。

在干线铁路中，机车和车辆上的制动装置基本原理相同但又各有不同之处，在机车和车辆列联挂后，机车和各节车辆的制动装置共同组成一个制动系统，实现列车制动功能。在城市轨道交通系统中，编组是固定的，所以制动系统也是固定和完整的。

## 1.1 制动的作用

列车制动是人为地利用制动力使列车减速、停车，阻止其运动或加速的统称。

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的这种外力，称为制动力。

列车在轨道上的运行是一种受信号设备和监控设备控制下由司机操纵或自动驾驶的运行方式，在信号设备认为需要制动的情况下，制动是由设备自动决定的。

为了能对列车施行制动作用，需要在列车上安装一套完整的制动系统(装置)。

## 1.2 制动的常用术语

### 1.2.1 制动术语

制动：通过操作指令使制动系统产生制动作用，又被称为制动施加、制动投入、上

闸，如果在当前制动状态下再提高制动级别，也称为追加制动，这些对应了运用单位的施加、投入、上闸、追加等术语。

缓解：指制动作用的解除，又被称为下闸。

保压：指制动过程中的一个压力保持的中间状态，即使制动缸获得的压力不变，这要求如果有压力泄漏则控制部分能够自动补充压缩空气以维持制动缸压力不变。

制动位：通常出现在制动系统管路图中或阀类器件结构原理图中，是指处于向制动缸充气的功能位，制动缸压力处在上升过程中，与制动位相应还有保压位、缓解位。如果出现在司机制动控制器上，则是指制动区(包含多个制动级位)，对应的还有运转位等。

制动级位：通常标记在司机制动手柄的位置指示部分，是指常用制动所划分的等级。

制动机：指整个制动系统中制动缸之前的控制部分，由于具有一定程度上的自动功能，长期被称为制动机。在本书中，制动机等价于空气制动控制系统。

供风：即供气，供给压缩空气。压缩空气在现场较多地被称为“风”，所以会有风管、风路、风压、风口、风表、风缸，与之对应的是气管、气路、气压、气口、气表，但一般不会有气缸。因为气缸是对外做功的活塞式器件，在制动系统中就是制动缸，而风缸却是储气罐，是压力容器，在制动系统中并不能一边倒，只用风或只用气，例如，总风管一般不说总气管。

总风：供风系统的压缩空气气源。

总风管：供风系统贯穿全车的主管，它把空气压缩机、各个总风缸连接起来，把总风源送到各车供包括制动系统的各个用风系统使用。

列车管：也是贯穿列车的管路，是具有传递制动信号、传送压缩空气双重作用的管路。在较早的列车制动包括目前还在应用的干线部分货物列车传统制动系统中，只有一根贯穿列车的管路。此外，列车管也是一个与每节车的制动主管、支管相对应的能够表明位置和长度的概念。列车管的术语主要在单管供风系统中使用。

制动管：指在双管供风系统中专门为制动控制所设的管路，其传输制动指令信息的功能与单管供风系统的列车管的作用相同，但列车管的供风功能是靠另一根贯穿全车的总风管(或称供风管)完成的。

粘着：这是一个最有铁路特色的专业术语。粘着的原始含义是黏附、附着，其中附着的概念广泛应用于汽车等轮胎类车辆的轮胎与路面的接触区域，而粘着则被应用于铁路系统的轮轨关系描述中。轮轨接触区域同时存在物理(力学)中所定义的静摩擦与动摩擦，粘着就是区别于摩擦而概括地描述工程运用中的实际状态的专业术语。

滑行：指车轮与钢轨接触区域存在滑动的状态，滑行的概念涉及两种工况和两个界限的相关概念。两种工况是牵引工况和制动工况，就是说在牵引工况动轮会发生轮轨间的相对滑动，其极限情况就是动轮空转。在制动工况，也会发生轮轨间的相对滑动，其极限情况是轮对被抱死。两个界限中一个是指发生与没发生滑行之间的界限，另一个是指发生滑行的程度上由“量变导致质变”的一个界限，这两个界限可以利用制动工况的滑行来说明：制动时，如果车轮旋转时车轮踏面的线速度低于当前的车厢实际纵向速度，那么就认为轮轨间已经处于滑行状态(即超过第一个界限)，如果车轮已经停止旋转而此时车厢还在向前运动中，则车轮被制动装置抱死不转(俗称“抱死轮”，即超过第二个界

限)。同样,牵引工况的滑行也存在这两个界限:牵引时,如果车轮旋转时车轮踏面的线速度大于当前的车厢实际纵向速度,那么就认为轮轨间已经处于滑行状态(即超过第一个界限),如果车轮已经高速旋转而此时列车还未起动,则动轮发生空转(俗称“打飞轮”,即超过第二个界限)。不论牵引工况还是制动工况,正常走行,即车轮正常滚动时,虽然没有超过第一个界限,但由于轮轨表面各自的几何特性,实际接触区域已经发生了部分滑行,也就是说静摩擦与动摩擦同时存在。只要踏面速度与车速不同,就超过了第一种界限。

**抱死:**专指制动工况下,列车停车前就发生了某根轴不转动的极限情况(俗称“抱死轮”)。

**制动冲击率:**制动时制动减速度随时间的变化率,本质上是制动力随时间变化率(力学中力的冲击的描述)表达成减速度的变化率形成列车制动行业术语。

**制动率:**指全列车制动闸瓦或闸片的压力总和与列车所受重力之比。制动率的概念可以延伸至一节车、一个转向架、一根轴相应比值,也即单车制动率、转向架制动率、轴制动率。制动率是描述列车制动能力的一个物理量。只有用相对值(比值)去比较不同列车(辆、架、轴)的制动力大小才有意义。

**制动倍率:**专指基础制动装置从制动缸出力到闸瓦(闸片)压力之间的放大倍数。这种放大可以通过杠杆、齿轮、凸轮等机构来实现,所以有的场合称其为杠杆比。

**空气通路:**指压缩空气的流通过程,可以是一个阀内部的流通过程,也可以是阀之间的流通过程。

## 1.2.2 本书涉及的相关术语

### 1) 列车

干线铁路中,列车是机车联挂车辆列并赋予列车号的整个编组。完成运输任务后,机车与车辆列摘解,机车的保养、维修、存放在机务段,车辆列的存放以及车辆的保养、维修在车辆段。

城市轨道交通系统中,列车是由动车和拖车组成编组固定的电动车组,有地铁列车、轻轨列车的称呼。本书采用地铁列车、地铁电动车组的称呼。

### 2) 车辆

在机械工程领域和机械学科中,车辆泛指各种车辆,包括汽车、工业车辆、运输车辆,而在干线铁路运输系统内部,车辆是和机车相对应的专业名词,专指铁路客车、货车、特种车辆。在城市轨道交通的地铁和轻轨系统中,由于列车中没有机车的概念,只有动车和拖车(即动力车、非动力车)组成的动车组,而且动车上设有客车坐席,所以地铁列车和轻轨列车称呼也在很多场合被地铁车辆、轻轨车辆代替。例如,地铁运营系统的列车维修中心(维修基地)曾被广泛地称为车辆段、车辆维修中心、车辆维修基地等。

另外,有时在限定所讨论的对象时,会有列车、车辆、转向架、车轴的分级概念,此时,一节车(单车)可以使用车辆或车厢来表述。在列车网络中,列车总线(WTB)和车辆总线(MVB)也属于以上的考虑。

### 3) 动车

动车是指动车组中带动力的车辆,也称为动力车。动车带有牵引控制单元,因此只有动车才有电制动能力。有的动车还带有受电弓,而辅助空气压缩机(或人力应急泵风设备)都是跟随在受电弓车上的。动车在技术文件和图纸中经常被标记为 M 车,带受电弓的动车经常被标记为  $M_p$  车。

### 4) 拖车

拖车是指动车组中不带动力的车辆,也称为非动力车,拖车没有电制动能力。主供风相同的空气压缩机安装在拖车上的情况较多。拖车在技术文件和图纸中经常被标记为 T 车。

一列车的头车和尾车既可以是动车,也可以是拖车,在技术文件和图纸中分别被标记为  $M_c$  车、 $T_c$  车。

### 5) 救援

当地铁列车出现故障通过简单处理还不能够以自行方式运行至列车维修基地时,就需要按照救援作业程序,由救援机车或一列正常的地铁列车牵引故障列车回到维修基地进行维修。鉴于地铁线路中的绝大多数中间站没有配线、无道岔,因此大部分运营系统都采用前车或后车来牵引或推送故障列车的方式进行救援。被救援列车应有制动能力,而且能够被救援列车操控。

### 6) 回送

回送专指通过干线铁路把新车送至运营单位或需要大修的列车返回制造厂的运输作业方式,分为无动力回送和有动力回送两种方式。因为供电制式的不同,地铁列车都采用无动力回送。在无动力回送作业方式中,地铁列车处于降弓状态,有控制电源,列车控制网络及硬线传输电路都上电工作,司机处于值守状态,回送开关置于回送位。被回送列车同样要有制动能力,这一点和救援作业相似。

### 7) 编组

把多节车辆连成一个车列,再联挂上机车就是一列完整的列车。由于地铁列车是动车组形式,所以这里的编组是指整个列车。在本书中编组是相对于单车或单元而言的。

### 8) 单元

单元一词在不同场合含义不同,基本是指组合的系统或装置。

列车的编组与单元:一列 6 辆编组的地铁列车,可能是由 2 个单元(半列车)组成的,每个单元含有 A、B、C 3 辆车。

牵引控制单元与制动控制单元:TCU、BCU,就是指集成化的牵引控制模块和制动控制模块,有的厂商称其为牵引控制装置、制动控制装置。

电子制动控制单元:EBCU 或 BECU,就是制动控制系统中的计算机及电子部件,这一部分在有的产品里是和空气制动控制部分处在一个安装柜里,有的则独立装在空气制动控制部分之外。同样道理,牵引部分也有相同的变化和相应的名称。

制动复合控制单元:在执行电制动优先的空电复合控制时,有的是在整列范围内考虑电制动力总和,有的是在某几辆车范围内计算电制动力总和,后者就是按照复合控制单元进行空电制动力分配和协调控制的。



### 1.3 制动力的产生

#### 1.3.1 制动力的描述

制动力是由制动装置引起的与列车运行方向相反的外力，是纵向力。制动力与列车运行中所存在的运行阻力(自然产生的)相比要大得多。列车制动减速过程中，制动力起主要作用(尽管列车运行阻力也起作用)。与牵引力一样，制动力同样受轮轨间的粘着限制(非粘着制动除外)。

#### 1.3.2 制动力的产生

制动力可以由多种方式产生，以最传统的空气踏面制动为例，用闸瓦压紧在车轮踏面上(图 1-1)，或用闸片压紧在制动盘面上(图 1-2)，可以获得所需要的制动力。

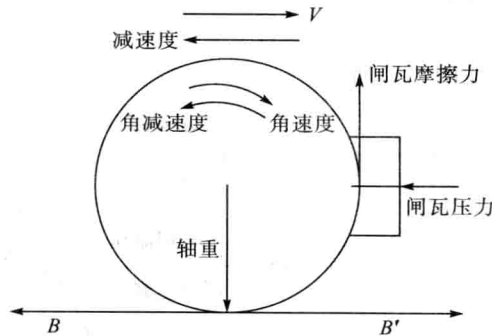


图 1-1 制动力产生示意图(踏面制动)

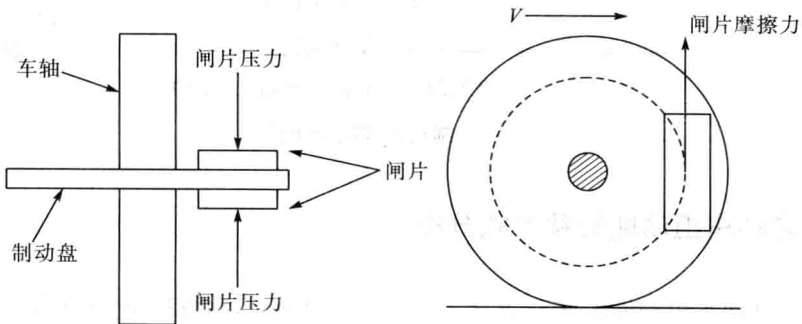


图 1-2 制动力产生示意图(盘形制动)

以轮对为隔离体，闸瓦摩擦力  $K\varphi_k$ 、制动力  $B$  与轮对角减速度  $\theta$  的关系为

$$\sum K\varphi_k R - BR = I\theta \tag{1-1}$$

式中， $K$  为每块闸瓦的压力，N； $\varphi_k$  为闸瓦摩擦系数； $B$  为由轨面反作用于车轮踏面的