

高等学校试用教材

# 制 动

西南交通大学机械系 张开文 主编

中国铁道出版社

1993年·北京

写的。

本书主要叙述了我国铁道客货车辆空气制动装置的构造和作用原理。同时，叙述了制动的基本理论和计算及其试验研究方法。此外，对我国机车制动机、地下铁道车辆制动机和国外车辆制动技术亦作了简要的介绍。

参加本书编写的同志有：西南交通大学张开文（第一、九章）、周恒济（第六章及第八章第一节）和王猷丕（第八章第二节）；长沙铁道学院凌铮（第二、七章）；北方交通大学饶忠（第三、四、五章）。

本书由西南交通大学张开文同志负责主编工作；上海铁道学院邵旦华同志负责主审工作，赵绍铭和夏寅荪两同志参加了审校。

在本书编写过程中，铁道部科学研究院机车车辆研究所、四方车辆研究所、铁道部长春客车工厂、天津机车车辆机械工厂、株洲车辆工厂、株洲机务段、衡阳机务段等单位提供了有关资料。本书第三章中的部分内容承张允昌、张玉心、孙福祥、李宝树和李明等同志协助编写。在此一并表示衷心的感谢。

由于我们对制动技术研究不够，理论水平有限，书中难免有谬误之处，敬请读者不吝指正。

编 者

1980年8月

(京) 新登字063号

### 内 容 简 介

本书是根据铁道部教育局组织制订的高等院校铁道车辆专业“制动”课程的教学大纲(初稿)和《制动》教材编写大纲进行编写的。全书共分九章,其主要内容有:制动问题概述;我国铁道车辆空气制动装置的构造和作用原理;制动的基本理论及计算;制动试验;机车制动机、地下铁道车辆制动机及国外车辆制动技术简介等。

本书可供铁路高等院校车辆专业教学之用,也可供铁路有关部门工程技术人员学习参考。

高等学校试用教材

### 制 动

西南交通大学机械系 张开文 主编

\*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

北京市朝阳区北苑印刷厂印

---

开本: 787×1092毫米<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张: 16.75 插页: 1 字数: 387千

1981年1月第1版 1993年11月第6次印刷

印数: 12301—15300册

---

ISBN 7-113-00763-5/U·236 定价: 7.95元

# 前 言

提高列车运行速度和牵引重量是提高铁路运输能力、实现铁路运输现代化的重要内容。但是，如果没有性能良好的机车车辆制动装置，要提高列车速度和牵引重量是不可能的。

建国以来，我国铁路制动工业得到很大的发展。在制动机方面，我们不仅能够制造解放前完全依赖进口的K型、LN型车辆制动机和ET-6型、EL-14型机车制动机，而且还建立了一支制动科研队伍，研制成功了GL型和GK型客货车三通阀，104型和103型客货车分配阀以及JZ-7型机车制动机等。近年来，经铁道部鉴定定型的104型客车分配阀和JZ-7型机车制动机以及初步鉴定定型的103型货车分配阀已正式投入生产，并越来越多地装用在机、客、货车上。经多次试验和长期运用实践表明，这些制动机的制动性能已接近世界先进制动机的水平。随着工艺水平的提高和橡胶等材料工业的发展，可以预料，我国自己设计制造的制动机的性能将会越来越好。在基础制动装置方面，我国对盘形制动装置、空重车调整装置、闸瓦间隙自动调整器、防滑器、合成闸瓦等进行的研究试制工作，取得了可喜的成果。同时我国还自行设计制造了1:1制动摩擦副试验台，为试验研究基础制动装置的工作创造了有利条件。

正是由于包括制动技术在内的铁道科学技术的蓬勃发展，我国解放后的列车运行速度和牵引重量日益提高，从而完成了艰巨的客货运输任务。但是，我国目前的制动技术与世界上先进工业国家相比，还有一定的差距。

近年来，国外铁道科学技术发展很快，随着牵引动力、线路建筑、通信信号和制动技术的日趋完善，以及电子技术和电算技术在铁路上的广泛采用，使货车载重量、列车牵引重量不断提高，列车运行速度也越来越高。先进工业国家的旅客列车速度，普遍地达到140~160公里/小时，货物列车速度达到100~120公里/小时。有些国家高速动车组的运行速度已超过200公里/小时，试验速度达到330公里/小时。在制动装置方面，研制成功了不少的新型机、客、货车分配阀和电空制动机；在高速列车上采用了先进的盘形制动、磁轨制动、轨道涡流制动、液力制动、闸瓦间隙自动调整器、单元制动装置和合成闸瓦等新的技术装备，使制动技术出现了一个崭新的局面。

根据我国铁路运输新的发展规划和设想，客货列车运行速度和列车牵引重量均将大幅度地提高，这就要求相应地改进现有的制动装置和研制新的制动装置和各种制动零部件。摆在我们面前的任务是十分艰巨的，我们要争取在制动技术领域中最快地赶上和超过世界先进水平。

本书是铁道部组织编写的高等院校铁道车辆专业的专业课教材。1978年4月，西南、北方交通大学和长沙、大连、兰州、上海铁道学院的有关同志在峨眉开会制定了“制动”课程教学大纲（初稿）和教材编写大纲。本教材就是根据上述大纲编

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一章 绪论                | 1  |
| 第一节 制动在铁路运输中的重要意义     | 1  |
| 第二节 制动方式              | 2  |
| 一、列车动能转移方式            | 2  |
| 二、制动力形成方式             | 3  |
| 第三节 制动机分类             | 4  |
| 一、直通制动机               | 4  |
| 二、自动制动机               | 6  |
| 三、直通自动制动机             | 9  |
| 四、电空制动机               | 11 |
| 第四节 制动机的发展            | 11 |
| 一、制动机发展初期             | 11 |
| 二、制动力的不衰减性            | 12 |
| 三、局部减压与制动波速           | 12 |
| 四、阶段缓解                | 13 |
| 五、结构、工艺的发展            | 14 |
| 第二章 客货车空气制动机          | 16 |
| 第一节 KC、KD和GK型货车空气制动机  | 16 |
| 一、KC、KD和GK型空气制动机的组成   | 16 |
| 二、GK型三通阀              | 17 |
| 三、GK型空气制动机的特点         | 27 |
| 四、K型与GK型三通阀的区别        | 27 |
| 第二节 LN型客车空气制动机        | 29 |
| 一、LN型空气制动机的组成         | 29 |
| 二、GL型三通阀              | 30 |
| 三、LN型空气制动机的特点         | 41 |
| 四、L型与GL型三通阀的区别        | 41 |
| 第三节 104、103型空气制动机     | 42 |
| 一、104、103型空气制动机的组成    | 42 |
| 二、104型客车空气分配阀         | 44 |
| 三、103型货车空气分配阀         | 57 |
| 四、104、103型空气分配阀的特点    | 61 |
| 第四节 列车管减压量与制动缸压力的计算   | 61 |
| 一、制动缸压力的计算            | 61 |
| 二、列车管最小减压量            | 62 |
| 三、列车管最大有效减压量          | 63 |
| 四、LN型制动机紧急制动时制动缸压力的计算 | 64 |
| 五、104、103型空气制动机的压力计算  | 64 |
| 第五节 空气制动机的其它部件        | 67 |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| 一、列车管                  | 67         |
| 二、制动软管和软管连结器           | 67         |
| 三、折角塞门和截断塞门            | 67         |
| 四、远心集尘器                | 68         |
| 五、滤尘网和滤尘器              | 68         |
| 六、副风缸和附加风缸             | 69         |
| 七、制动缸                  | 69         |
| 八、缓解阀                  | 71         |
| 九、紧急制动阀                | 71         |
| 十、压力表                  | 72         |
| <b>第三章 制动试验</b>        | <b>73</b>  |
| 第一节 车辆分配阀和三通阀的机能试验     | 73         |
| 一、705型试验台和103、104阀机能试验 | 73         |
| 二、三T 试验台及其试验方法和标准      | 78         |
| 第二节 单车试验和列车试验          | 85         |
| 一、单车试验                 | 85         |
| 二、列车试验                 | 88         |
| 第三节 列车制动机的定置试验         | 88         |
| 一、定置试验的内容              | 89         |
| 二、定置试验台的组成及定置试验时所用的仪表  | 89         |
| 三、在车站进行定置试验时列车的布置      | 90         |
| 第四节 运行试验               | 90         |
| 一、试验目的和要求              | 90         |
| 二、制动距离的测试              | 91         |
| 三、列车运行速度的测试            | 92         |
| 四、制动减速度的测试             | 92         |
| 五、制动时的纵向动力试验           | 92         |
| 第五节 闸瓦及其性能试验           | 93         |
| 一、铸铁闸瓦                 | 93         |
| 二、合成闸瓦                 | 94         |
| 三、制动摩擦副试验台及闸瓦性能试验      | 95         |
| 四、制动溜放试验               | 99         |
| <b>第四章 制动距离和制动限速</b>   | <b>100</b> |
| 第一节 制动时的减速度            | 100        |
| 一、列车运行中受到的力            | 100        |
| 二、列车运行阻力及其计算           | 100        |
| 三、制动力的形成和分析            | 103        |
| 四、粘着与滑行                | 105        |
| 五、列车制动力的计算             | 109        |
| 第二节 制动距离               | 112        |
| 一、空走距离的计算              | 113        |
| 二、实制动距离的计算             | 113        |
| 三、制动距离的计算              | 115        |
| 四、电算技术在制动距离计算方面的应用     | 115        |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 五、求实制动距离的等效法 .....           | 118 |
| 第三节 制动限速 .....               | 119 |
| 第五章 制动波及制动时的列车纵向动力作用 .....   | 125 |
| 第一节 空气波与制动波 .....            | 125 |
| 一、空气波 .....                  | 125 |
| 二、制动波 .....                  | 128 |
| 第二节 列车制动时的纵向动力作用 .....       | 131 |
| 一、产生动力作用的原因 .....            | 131 |
| 二、制动阶段的划分及其性质 .....          | 131 |
| 三、第一制动阶段的最大压缩力 .....         | 132 |
| 四、第二制动阶段的动压缩力和总压缩力 .....     | 134 |
| 五、因单位制动力分配不均而造成的车钩间作用力 ..... | 135 |
| 六、制动缸变速充气及其意义 .....          | 137 |
| 第六章 基础制动装置及手制动机 .....        | 140 |
| 第一节 基础制动装置的型式和作用 .....       | 140 |
| 一、基础制动装置的型式 .....            | 140 |
| 二、基础制动装置的作用 .....            | 141 |
| 第二节 制动倍率、传动效率和制动率 .....      | 142 |
| 一、制动倍率 .....                 | 142 |
| 二、基础制动装置的传动效率 .....          | 145 |
| 三、制动率 .....                  | 146 |
| 第三节 闸瓦悬吊位置 .....             | 147 |
| 第四节 基础制动装置设计的一般程序 .....      | 149 |
| 第五节 鞣鞣行程调整及闸瓦间隙自动调整器 .....   | 151 |
| 一、客车闸瓦间隙自动调整器 .....          | 152 |
| 二、货车闸瓦间隙的调整 .....            | 153 |
| 三、SAB 闸瓦间隙自动调整器 .....        | 155 |
| 第六节 手制动机 .....               | 158 |
| 一、货车手制动机 .....               | 158 |
| 二、客车手制动机 .....               | 159 |
| 第七章 机车空气制动机作用原理 .....        | 161 |
| 第一节 ET-6型空气制动机 .....         | 161 |
| 一、ET-6型空气制动机的组成 .....        | 161 |
| 二、调压器 .....                  | 163 |
| 三、给气阀 .....                  | 163 |
| 四、E-6型分配阀 .....              | 165 |
| 五、H-6型自动制动阀 .....            | 169 |
| 六、S-6型单独制动阀 .....            | 173 |
| 七、综合制动作用 .....               | 175 |
| 第二节 EL-14型空气制动机 .....        | 188 |
| 第三节 JZ-7型空气制动机 .....         | 190 |
| 第八章 地下铁道车辆制动机 .....          | 192 |
| 第一节 DK 型制动机 .....            | 192 |
| 一、DK 型电空制动机的组成及作用原理 .....    | 192 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 二、地铁车辆膜板分配阀 .....             | 197 |
| 第二节 SD型电控制动机 .....            | 202 |
| 一、SD型电控制动机的组成和特点 .....        | 202 |
| 二、SD型电控制动机主要部件的构造及其作用原理 ..... | 203 |
| 三、SD型电控制动机的综合作用 .....         | 209 |
| 第九章 国外车辆制动技术 .....            | 212 |
| 第一节 盘形制动装置 .....              | 212 |
| 一、盘形制动的特点 .....               | 212 |
| 二、盘形制动装置的构造和作用 .....          | 212 |
| 三、盘形制动装置的分类 .....             | 214 |
| 四、盘形制动加踏面制动的混合作用方式 .....      | 216 |
| 第二节 防滑装置 .....                | 217 |
| 一、防滑装置的构造和作用原理 .....          | 217 |
| 二、防滑器作用曲线 .....               | 220 |
| 第三节 非粘着制动 .....               | 221 |
| 一、磁轨制动 .....                  | 222 |
| 二、轨道涡流制动 .....                | 224 |
| 第四节 空重车自动调整装置 .....           | 225 |
| 一、空重车调整的意义 .....              | 225 |
| 二、空重车调整的方法 .....              | 226 |
| 第五节 电空制动机 .....               | 228 |
| 一、苏联№.305型电空阀 .....           | 229 |
| 二、双线制电空制动机原理 .....            | 234 |
| 三、单线制电空制动机原理 .....            | 237 |
| 四、加速电磁阀电空制动机 .....            | 239 |
| 第六节 美国AB型货车制动机 .....          | 240 |
| 一、概述 .....                    | 240 |
| 二、AB型空气制动机 .....              | 241 |
| 三、ABD型与ABDW型控制阀 .....         | 247 |
| 第七节 F117型分配阀 .....            | 253 |
| 一、Fe117型分配阀的作用原理 .....        | 253 |
| 二、Fu117型分配阀的作用原理 .....        | 255 |
| 第八节 日本高速动车组制动系统 .....         | 256 |
| 一、制动阀操纵制动 .....               | 256 |
| 二、ATC制动 .....                 | 258 |
| 三、故障制动 .....                  | 259 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 制动在铁路运输中的重要意义

人为地使列车减速或阻止它加速叫做制动。为了施行制动而在机车车辆上装设的由一套零部件组成的装置，称为制动装置。为保证铁路行车安全和提高铁路的通过能力，我国的每一机车车辆均装有制动装置。

使列车由静止状态起动的加速，需对它施行“驱动”。当列车已处在运动状态之中，为了使它迅速停车或减速，必须对它施行“制动”。另外，为了使有运动趋势的机车车辆保持静止，例如，为了避免停放的机车车辆因重力的作用或风力吹动而溜走，亦需对它们施行制动。只有当驱动与制动两者都能满足要求时，列车的“动”、“静”才能控制自如。若只顾驱动列车高速运动，忽视必要时靠制动使之迅速停车，必定会发生危险，影响正常运输，甚至会造成人民生命财产的损失。

要驱动列车，就必须对列车作用以牵引力；要制动列车，就必须对列车作用以制动力。这是很浅显的道理。以机车牵引的列车为例，若机车功率大，它产生的牵引力亦大，列车起动加速就快，且列车能达到较高的技术速度。但这仅仅是问题的一个方面。另一方面，提高列车速度还受到制动力的限制。若制动装置的功率大、作用灵敏，列车减速快，区间的限制速度就可以高一些。

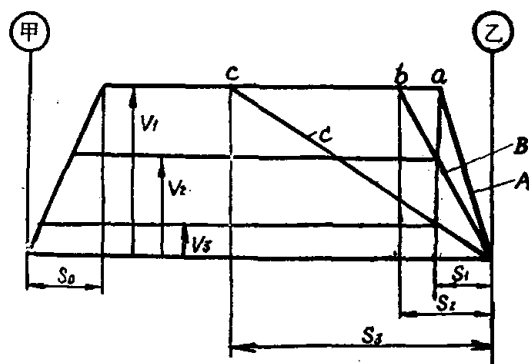


图 1—1 区间速度与制动距离的关系

例如，列车运行于甲、乙两站间（图 1—1），设这个区间线路纵断面是相同的。列车由甲站发车，行驶了  $S_0$  距离时加速至速度  $V_1$ 。 $S_0$  为起动加速距离， $S_0$  的长短决定于机车功率的大小。若列车需在乙站停车，制动功率较大的 A 列车，开始施行制动的地点可在距乙站较近的 a 处，它的制动距离为  $S_1$ 。若另一 B 列车的制动功率较小，则须提前于 b 点开始施行制动，制动距离为  $S_2$ ，因而 B 列车减少了高速行驶的距离，于是，它的平均速度低于 A 列车。若 C 列车是没有制动装置的，或虽有制动装置而不去使用它，靠自然的摩擦阻力使之停车，则该列车必须在 c 点开始“惰行”，它的惰行距离为  $S_3$ 。显然，C 列车的平均速度更低。

假如，按照铁路技术管理规程的要求，规定制动距离不准超过  $S_1$ 。那末，为了保证行车安全，对 B、C 列车在此区间的技术速度，必须分别限制为  $V_2$  和  $V_3$ 。这样，就降低了铁路的通过能力。

每个国家根据本国铁路运用管理的经验，对制动距离的要求均有所规定。例如，我国铁道部在铁路技术管理规程中规定：“列车在限制下坡道的紧急制动距离，规定为 800 米”。这个距离要比起动加速距离短得多。所以，列车的制动功率要比驱动功率大 5～10 倍。

随着牵引动力以及其它各项铁路技术的发展，列车速度日益提高，货物列车的牵引重量

不断增长,对制动技术提出了多方面的要求。而速度的提高,是对制动技术最为严峻的挑战,因为在一定的制动距离条件下,列车的制动功率,是列车速度的三次函数。所以,为实现我国铁路运输现代化,研制性能优良的制动装置是摆在我们面前的一项艰巨的任务。

## 第二节 制动方式

制动方式是指制动时列车动能的转移方式或制动力获取的方式。

从作用力与列车的关系来看,驱动或制动都需要对列车作用以外力。从能量的观点看,驱动是机车将燃料所具有的能量或电厂所发出的电能转变成列车的动能;制动就是设法将此动能从列车上转移出去,使列车减速或停止。采取什么制动方式使列车的动能转移出去,采取什么制动方式获取这种外力——制动力,是制动的基本问题。因此,制动方式的研究是制动研究的基础。

### 一、列车动能转移方式

列车动能的转移方式可以分为两类:第一类是把动能转变为热能,然后消散于大气,简称“热逸散”;另一类把动能转变成可用能。

#### (一) 热逸散

目前,属于热逸散的制动方式有下列几种:

1. 摩擦制动——把列车动能转变为摩擦热能。它可分为固体摩擦与液体摩擦两种。

##### (1) 固体摩擦制动

① 闸瓦制动(踏面制动),是目前铁路使用最广泛的一种制动方式。用铸铁或合成材料制成的闸瓦压紧滚动着的车轮,使轮瓦间发生摩擦,列车动能极大部分变成热能,并转移入车轮与闸瓦,最终逸散于大气。

② 盘形制动。用制动夹钳使闸片(一般用合成材料制成)夹紧装固在车轴或车轮辐板上的制动圆盘(一般为铸铁盘),使闸片与制动圆盘间产生摩擦,把动能转变为热能,转移入制动圆盘与闸片,最终逸散于大气。

③ 轨道电磁制动,也叫磁轨制动。制动时将电磁铁放下,与钢轨吸住,靠钢轨与电磁铁之间的摩擦转移能量。

(2) 液体摩擦制动(液力制动)。液力传动的机车可采用液力制动。目前,已有在车辆上采用液力制动的试验方案。靠液体间和液体与固体(工作液体与偶合器)之间的摩擦,变列车动能为工作液体的热量,并使发热的工作液体进行循环冷却,经由散热器逸散于大气。

2. 动力制动——列车动能通过电机、电器变为热能,最终逸散于大气。

(1) 电阻制动。制动时,变牵引电动机为发电机,将所发电能加于电阻器中,使它发热,靠风扇给电阻器强迫通风而将热量逸散于大气中。电力机车、电传动的内燃机车和电动车辆等,凡用牵引电动机驱动的动力车都有可能实现电阻制动。

(2) 旋转涡流制动。牵引电机轴上装有金属涡流盘,制动时,盘在电磁铁形成的磁场中旋转,盘表面感应出涡流,使涡流盘发热。涡流盘带有散热筋并起鼓风机叶轮作用,可加

速盘的散热。

(3) 轨道涡流(线性涡流)制动。制动时,悬挂在转向架上的电磁铁放下到离轨面上方几毫米处,利用它和钢轨的相对运动使钢轨表面感应出涡流,从而产生阻力并使钢轨发热。变列车动能为热能,由钢轨与电磁铁逸散于大气。

## (二) 列车动能转变成可用能

1. 再生制动。使列车动能转变成电能回收。电力机车或电动车辆可实现再生制动,可将电能反馈至电网。

2. 飞轮贮能制动。制动时,把列车动能转移入飞轮贮存。起动加速时使该能量放出,可以节约能源。飞轮贮能制动的设想由来已久,但目前尚属试验阶段。因为它不但需要在车辆上装设旋转质量相当大的飞轮,而且还需要一整套传动装置。飞轮贮能对于长途车意义不大。它对于起动停车频繁的地下铁道车辆可以有三方面的效果,一是可以节约能源和使变电所负荷均匀;二是能减轻隧道内的热负荷;三是当万一发生停电故障时,靠飞轮贮存的能量可低速行驶到下一站,以疏散旅客。

在以上讨论中,“列车动能转移”中的“转”,是指把动能转换成第二种能量;“移”是如何处理这第二种能量的意思。每种制动装置的“转”和“移”的能力并不总是相互匹配的,例如,在闸瓦制动中,“移”的能力小于“转”的能力;在电阻制动中,可以达到“移”的能力大于“转”的能力。

## 二、制动力形成方式

铁路机车车辆制动,就制动力的形成方式分类,可分为粘着制动与非粘着制动。

### (一) 粘着制动

以闸瓦制动为例,车轮、闸瓦、钢轨这三者之间有三种可供分析的状态:第一种是难以实现的理想的纯滚动状态;第二种是应极力避免的“滑行”状态;第三种是实际运用中的“粘着”状态。

1. 靠滚动着的车轮与钢轨接触点在接触瞬间的静(不发生相对滑动)摩擦阻力作为制动力,车轮沿钢轨边滚动边减速停止。在此过程中,车轮与钢轨之间是静摩擦;车轮与闸瓦之间是动摩擦。这是一种难以实现的理想状态。倘若能达到这种状态,那末,可能实现的制动力的最大值约是轮轨间静摩擦阻力的极限值。

2. 第二种情况恰恰与第一种相反。即轮瓦间为静摩擦;轮轨间为动摩擦。那末,原第一种状态中车轮滚动减速改变为滑行(车轮在车辆未停住前即被闸瓦抱死,在钢轨上滑行)减速。这是必须杜绝的事故状态。此时,轮轨间的动摩擦阻力就成为滑行时的制动力。

3. 实际上,车轮在钢轨上滚动时,轮轨接触处既非静止,亦非滑动,在铁路术语中用“粘着”来称呼这种状态。

要依靠粘着滚动的车轮与钢轨粘着点之间的粘着力来实现机车车辆的制动,叫做粘着制动。

粘着制动时,可能实现的最大制动力,不会超过粘着力。

粘着制动是目前主要的一种制动方式。根据轮轨间的静摩擦系数 $\mu$ 、粘着系数 $\psi$ 、动摩擦系数 $\varphi$ 这三者中 $\mu > \psi > \varphi$ 的关系,在上述三种情况中:可能实现的制动力的最大值以第一种状态时为最大,但实际上这是达不到的;第二种最小,这不但会延长制动距离,而且会擦

伤车轮；第三种介乎这二者之间，它随气候与速度等条件的不同可以有相当大的变化。所以，采用粘着制动，必须对那些可资利用的粘着条件加以研究，以获取可能的最大制动力。

闸瓦制动、盘形制动、液力制动、电阻制动、旋转涡流制动、再生制动以及飞轮贮能制动，从制动力形成的方式来看，都属于粘着制动。它们的制动力的大小都要受粘着力限制。

## （二）非粘着制动

轨道电磁制动与轨道涡流制动属于非粘着制动（或称非粘制动）。制动时，钢轨给出的制动力并不通过轮轨粘着点作用于车辆，而由钢轨直接作用于吊挂在转向架上的电磁铁。制动力的大小不受轮轨间粘着力限制，是超出粘着力以外获取制动力的一种制动方式。所以，也叫做粘着外制动。

非粘制动目前主要用于粘着制动力不够的高速旅客列车上，作为一种辅助的制动方式。

# 第三节 制动机分类

制动机是制动装置\*中可直接受司机操纵控制及产生制动力的动力来源部分。

制动机按其用途可分为：机车、客车、货车及高速列车制动机。按它们的操纵方法与动力来源可分为：空气制动机、电空制动机、真空制动机等。

空气制动机使用较灵便，是最先使列车摆脱人力制动的一种制动机。它用压力空气（压缩空气）作为制动的动力和操纵制动的介质。空气制动机是目前各国广泛采用的制动机。我国的机车车辆全部装有空气制动机。

空气制动机可分为：直通制动机；自动制动机（或叫做非直通自动制动机）；直通自动制动机。这是一种把车辆上的制动机与机车制动机中的制动阀的特点结合起来考虑的分类方法。

由于直通制动机基本上已被淘汰，而自动、直通自动制动机的主要不同之处取决于它们所用的三通阀或分配阀的构造和作用。所以，目前也习惯于以阀（三通阀或分配阀）的构造作用原理来分类制动机。例如，分：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；或软性、硬性、半硬性制动机。

## 一、直通制动机

### （一）直通制动机作用原理（图 1—2）

空气压缩机 1 将压力空气贮入总风缸 2，经总风缸管 3 流至制动阀 4。制动阀的手柄有三个位置。司机要施行制动时，将制动阀 4 的手柄放在制动位Ⅲ，总风缸 2 的压力空气经制动阀 4 进入列车管 5。列车管在每相邻的两辆车连结处以橡胶软管相互接妥，在列车的头尾两端的列车管由塞门和防尘堵堵死。所以，列车管是一根贯通整列车的、两端封死的压力空气输送管和制动作用的操纵管。压力空气由列车管 5 进入各车辆的制动缸 6，推动制动缸鞣鞣 9，带动由一套杠杆等零件组成的基础制动装置 7，使闸瓦 10 压紧车轮，列车发生制动作用。制动缸内压力空气压力的高低，即闸瓦压紧车轮的压力的大小，系根据司机将制动阀手柄

\* 制动装置一般包括三部分：制动机，基础制动装置及手制动机。

放在制动位的时间的久暂而定。手柄位置一直留放在制动位,制动缸最终可达到与总风缸相同的压力。

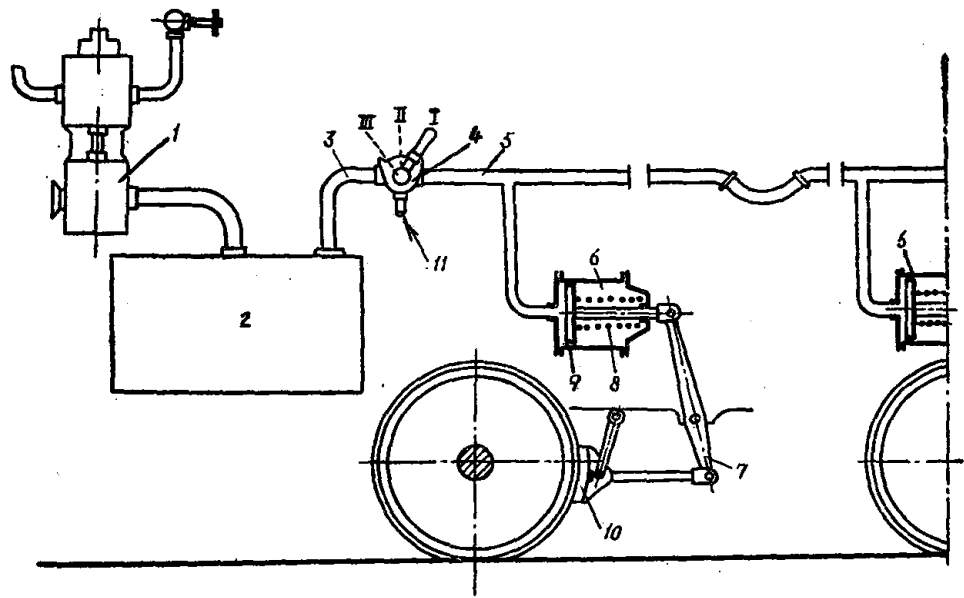


图 1-2 直通制动机原理图

1 —— 空气压缩机; 2 —— 总风缸; 3 —— 总风缸管; 4 —— 制动阀; 5 —— 列车管; 6 —— 制动缸; 7 —— 基础制动装置; 8 —— 制动缸缓解弹簧; 9 —— 制动缸鞣鞣; 10 —— 闸瓦; 11 —— 制动阀的排气口。I、II、III —— 制动阀的缓解位、中立位、制动位。

如果司机将制动阀 4 的手柄放在缓解位 I, 可使列车管与大气相通, 各车辆制动缸内的压力空气经列车管从制动阀的排气口 11 排入大气, 制动缸压力逐渐降低。如果手柄在缓解位留放足够长的时间, 制动缸中的压力空气排尽。制动缸鞣鞣 9 借制动缸缓解弹簧 8 的复原力, 使鞣鞣 9 回到制动前的位置, 闸瓦离开车轮, 机车车辆呈缓解状态。

制动阀 4 的手柄放在中立位 II 时, 列车管既不通总风缸管, 亦不通排气口。当司机将制动阀手柄在制动位 III 与中立位 II 之间来回搬动或在缓解位 I 与中立位 II 之间来回搬动, 则制动缸压力能分阶段上升或分阶段下降, 即能实现阶段制动或阶段缓解。

图 1-3 是直通制动机的制动阀手柄位置与制动缸压力  $P_x$  之间的关系示意图。

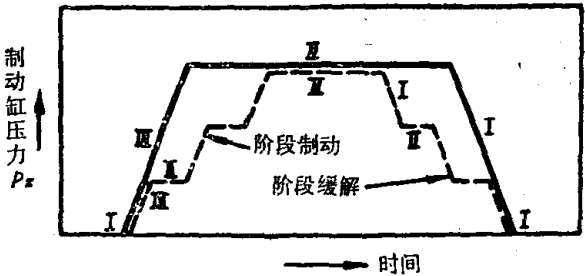


图 1-3 直通制动机制动阀手柄位置与制动缸压力关系图

I、II、III —— 制动阀手柄分别置于缓解位、中立位、制动位。

(二) 直通制动机的特点

1. 列车管增压制动, 减压缓解。列车分离时不能自动制动;
2. 构造简单, 有阶段制动和阶段缓解。对于很短的列车, 操纵灵活, 但不适用于较长的列车。若列车较长, 则制动或缓解时列车冲动很大。因为制动时, 各车辆制动缸内的压力空气都要由机车上的空气压缩机和总风缸供给。所以, 离机车越远的制动缸充气越晚, 充气的速度亦越慢。造成前后车辆制动的不一致性。缓解时, 所有车辆制动缸中的压力空气均需经机车上的制动阀排气口排入大气。所以, 各制动缸的开始排气时间与排气速度亦极不一致, 即缓解的一致性很差。

## 二、自动制动机

### (一) 自动制动机作用原理 (图 1—4)

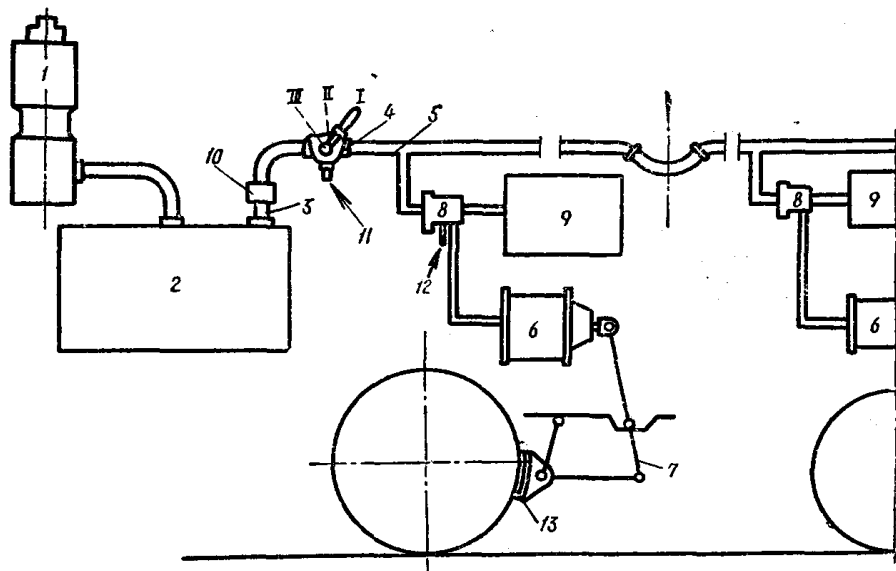


图 1—4 自动制动机原理图

1——空气压缩机；2——总风缸；3——总风缸管；4——制动阀；5——列车管；6——制动缸；7——基础制动装置；8——三通阀或分配阀；9——副风缸；10——给气阀；11——制动阀排气口；12——三通阀或分配阀的排气口；13——闸瓦。

自动制动机与直通制动机在构造上不同的地方：自动制动机在列车管 5 (又叫制动管) 与制动缸 6 之间增加了三通阀 8 和副风缸 9；在总风缸 2 与制动阀 4 之间增加了给气阀 10。

制动阀 4 的手柄放在充气缓解位 I 时，总风缸 2 中的压力空气经给气阀 10、制动阀 4 送至列车管 5。压力空气再由列车管经各三通阀 8 向副风缸 9 充气。此时，如制动缸中有压力空气存在，可经三通阀排气口 12 排入大气。所以当手柄放在充气缓解位 I 时，副风缸充气，制动缸排气，制动机缓解。

当列车管、副风缸被充满到“规定的压力”（以后简称“定压”）时，即使手柄继续留放充气缓解位 I，列车管压力亦不会超过定压。因为，给气阀 10 是一个限压阀，列车管压力达到给气阀所调整的压力时，它会自动停止充气。而当列车管压力因漏泄等原因低于调整压力时，给气阀会向列车管自动充气。所以，列车运行时，制动阀手柄放在充气缓解位置 I，列车管、副风缸总是充满着定压空气，使各制动机处在制动的准备状态。

必要时，可调整给气阀的输出压力，以达到变更列车管定压值的目的。

行车中需制动时，司机操纵制动阀手柄，将它放于制动位 III，使列车管与大气相通。列车管 5 中的压力空气经制动阀 4 的排气口 11 排入大气，各三通阀相继发生动作。原贮于副风缸 9 内的压力空气经三通阀 8 向制动缸 6 充气。制动缸压力上升，通过基础制动装置 7 使闸瓦 13 贴紧车轮，制动机发生制动作用。

由此可见，自动制动机的作用有赖于：司机操纵的列车管内的压力变化（增压、减压）和三通阀的动作。

### (二) 三通阀作用原理 (图 1—5)

三通阀根据列车管内压力空气的压力变化，能得到如下的三种基本动作，也就是说它有三个基本位置。

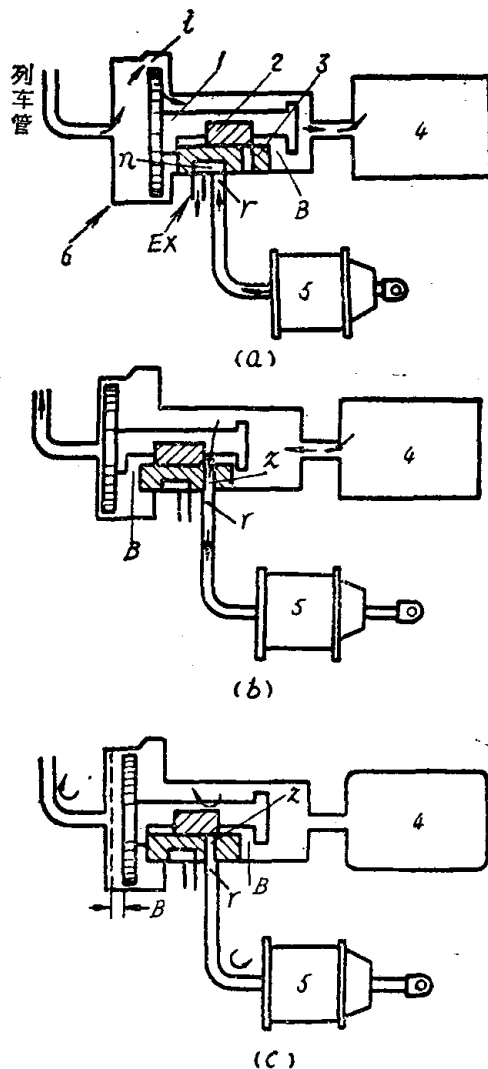


图 1—5 三通阀作用原理图

(a)、(b)、(c)——分别为三通阀的充气缓解位、制动位、中立位；1——三通阀鞣鞣及鞣鞣杆；2——节制阀；3——滑阀；4——副风缸；5——制动缸；6——三通阀； $i$ ——充气沟； $B$ ——间隙。

1. 充气缓解位〔图 1—5 (a)〕。  
其空气通路为：列车管→副风缸；制动缸→大气。

向列车管充气，管内压力增高，三通阀内部的鞣鞣及鞣鞣杆 1 带动节制阀 2 及滑阀 3 一起移动至右侧位置。充气沟  $i$  露出。列车管中的压力空气经充气沟  $i$  充入副风缸 4。制动缸 5 经滑阀 3 上的联络槽  $n$  与三通阀的排气口  $EX$  连通。这时，如制动缸内有压力空气，则由此排入大气。副风缸内压力可一直充至与列车管的压力相等。制动缸缓解后的最终压力为零。

所谓缓解是指制动缸通大气；充气是指副风缸压力低于列车管时，由总风缸经列车管使它补足压力空气至定压。

列车在行车时，三通阀经常处于这个位置——制动的准备状态。

2. 制动位〔图 1—5 (b)〕。其空气通路为：副风缸→制动缸。

司机要操纵列车制动时，将制动阀手柄放置在制动位，使列车管排气减压，因此，鞣鞣 1 左侧压力降低，形成右侧副风缸压力大于左侧列车管压力。鞣鞣 1 在此压差作用下，克服其本身及节制阀的移动阻力，向左移动。先左移一间隙距离  $B$ 。之后，再带动滑阀 3 一起移至左端位置。此时，副风缸经滑阀上的上下贯通的  $z$  孔与制动缸孔  $r$  相通。副风缸中的压力空气充入制动缸。制动缸压力上升，副风缸压力下降。

3. 制动中立位〔图 1—5 (c)〕。

当司机将制动阀手柄由制动位 III 移至中立位 II，使列车管压力下降至一定值后不再继续减压时，由于三通阀鞣鞣原来已处在图 1—5 (b) 的位置（制动位），故副风缸仍继续向制动缸充气，而压力渐渐下降。等到副风缸压力下降至稍低于列车管压力时，鞣鞣随即回

移，带动节制阀右移一间隙距离  $B$  后即停住不动。节制阀遮住  $z$  孔，副风缸压力停止下降，鞣鞣两侧不能再产生更大的压差。由于设计计算时，令此微小压差所引起的回移力仅能克服鞣鞣及节制阀的移动阻力，而不足以克服鞣鞣及滑阀的移动阻力。所以，列车管减压一经停止，等到副风缸压力稍低于列车管压力时，三通阀便到达制动中立位，制动缸压力停止上升，制动机成保压状态。

如果列车管再减压，三通阀鞣鞣再到达制动位，制动缸压力重新上升。所以，司机需要调节制动力时，只要操纵制动阀手柄便可。例如，手柄在制动位与中立位之间交替操作，三通阀鞣鞣相应地左右移动一间隙距离  $B$ ，制动缸压力便分阶段上升，即得到阶段制动。

此时，司机要使列车缓解，只需将制动阀手柄放到充气缓解位，三通阀的动作见图 1—5 (a) 及前面第 1 项之叙述。但制动阀手柄在充气缓解位与中立位之间交替操纵，因该种类型三通阀构造性能所限，不能得到阶段缓解。

图 1—6 表示制动阀手柄位置与三通阀作用位置之间的关系，虚线表示阶段制动。

### (三) 自动制动机的特点

1. 列车管减压制动，增压缓解。列车分离时或拉动紧急制动阀（车长阀）时能自动制动停车；

2. 适用于较长大列车。制动或缓解时，列车的冲动较直通制动机为小。

自动制动机制动时，各制动缸内的压力空气就近取自各车辆本身的副风缸。而制动阀只需排出列车管少量空气即可发生制动作用。所以，制动一致性要比直通制动机好。缓解时，各制动缸中的压力空气经各自的三通阀排出。不需要像直通制动机那样，各制动缸中的压力空气要统归到制动阀的排气口排出。所以，缓解的一致性亦好些。

### (四) 三通阀或分配阀的“软性”

自动制动机所用的三通阀或分配阀，它的主要部分是一个依靠两种压力的差别或平衡而发生动作的机构，这个机构被命名为“二压力机构”。例如，上述三通阀靠一个鞣鞣的左右两侧——列车管侧和副风缸侧的压力差或压力平衡而发生动作。

采用二压力机构的三通阀或分配阀叫“软性阀”，用它组成的制动机叫“软性制动机”。

软性阀或软性制动机的特征：

1. 缓慢减压不制动。即阀具有一定的稳定性。

所谓稳定性，即列车管的减压速度极为缓慢时，三通阀不发生制动动作的性能。例如，列车管的减压速度为每 6 秒钟减压在  $0.03$  公斤/厘米<sup>2</sup>（合  $0.3$  公斤/厘米<sup>2</sup>·分）之内，三通阀不应该发生动作。对阀提出稳定性要求，是运用实际的需要。因为列车管不可能达到绝对严

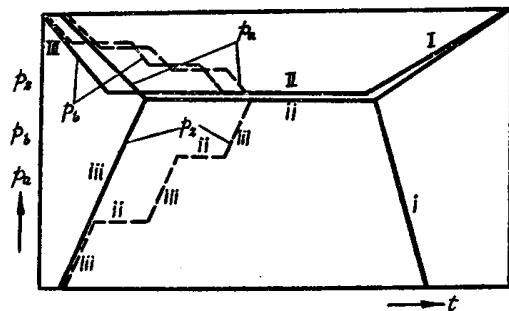


图 1—6 列车管、副风缸和制动缸三者的压力变化，即制动阀手柄位置与三通阀作用位置之间的关系

I、II、III——制动阀手柄位置，分别为充气缓解位、中立位、制动位；  
i、ii、iii——三通阀作用位置，分别为充气缓解位、制动中立位、制动位；  
 $p_s$ 、 $p_b$ 、 $p_c$ ——分别为副风缸、列车管、制动缸压力；  
 $t$ ——时间。

密而没有任何的漏泄。当然，列车管的漏泄可以由总风缸经给气阀自动地补充，但给气阀本身也具有一定的不灵敏性，并不是可以随时漏泄随时补充的。所以，在运行中，虽然司机并没有操纵列车管的减压，而列车管中的压力却一直在波动着。如果阀在缓解位不具备一定的稳定性，或稳定性不够，实际应用就有困难。所以，要求阀具有一定的灵敏度，同时，还要求它具有一定的不灵敏性——稳定性。

2. 列车管以一定速度减压时，必须发生制动。即阀具有一定的灵敏度。

例如，当列车管减压速度为每6秒钟0.6公斤/厘米<sup>2</sup>（合0.1公斤/厘米<sup>2</sup>·秒）时，阀不应晚于6秒钟发生制动动作。

3. 轻易缓解。

列车管压力高于副风缸0.1~0.2公斤/厘米<sup>2</sup>，制动机一次缓解完毕。

4. 适用于不同的列车管定压。例如，列车管定压由5公斤/厘米<sup>2</sup>更改为6公斤/厘米<sup>2</sup>，阀的作用不变。

### 三、直通自动制动机

直通自动制动机用三压力机构分配阀。直通自动制动机与自动制动机一样是列车管减压制动，增压缓解。另外它还具有阶段缓解和制动力的不衰减性。根据所用分配阀性能不同可以分成“半硬性”与“硬性”的两种。

（一）直通自动制动机（半硬性）作用原理〔图1—7（a）〕

向制动机充气：从列车管12来的压力空气，一路经充气沟2充入定压风缸3，另一路经止回阀11充入副风缸10。使两个风缸均充到定压，分配阀处于缓解位置。

制动：列车管以一定的减压速度减压，定压风缸3中的压力空气来不及经充气沟2向列车管逆流时，主鞣鞣1由于上下侧建立的一定的压差而向上移动。先是排气阀口6与进排气阀8底面接触密贴，使制动缸9不再经排气阀口6通大气。主鞣鞣1继续上移时，顶起进排气阀8，使其离开进气阀座7。副风缸10中的压力空气经进气阀座7充入制动缸9，分配阀处于制动位。

列车管停止减压：在上述制动位置，副风缸向制动缸充气时，制动缸压力亦作用于面积较主鞣鞣1为小的制动缸压力鞣鞣5上（5与1连成一体），当制动缸压力乘以鞣鞣5的面积所得向下之力，加上列车管压力（经过减压后）乘以主鞣鞣1的面积所得向下之力，再加上作用在进排气阀8上方的弹簧伸张力等，上述几个向下力的和稍稍大于定压风缸3的压力（它几乎没有减压）乘以主鞣鞣1的面积所得的向上力时，鞣鞣便稍稍下移，进排气阀8紧贴进气阀座7，排气阀口6由于仍与进排气阀8贴紧而处于关闭状态。副风缸压力空气停止充入制动缸，制动缸9内的压力停止上升，分配阀处于中立位。

若再次操纵列车管的减压及停止减压，能得到阶段制动。

制动后向列车管充气：由于列车管压力增加，上述向下力大于向上力，不能维持原来的制动后中立位置的平衡状态，于是鞣鞣下移，排气阀口6打开。制动缸9中的压力空气经排气阀口6、分配阀排气口4而排入大气，分配阀处于缓解位置。

若列车管增压少许后停止增压，则等到列车管、制动缸与定压风缸三者的压力关系达平衡时，排气阀口6又关闭。制动缸停止排气，分配阀处于缓解后的中立位置。

再次操纵列车管的增压及停止增压，能得到阶段缓解。