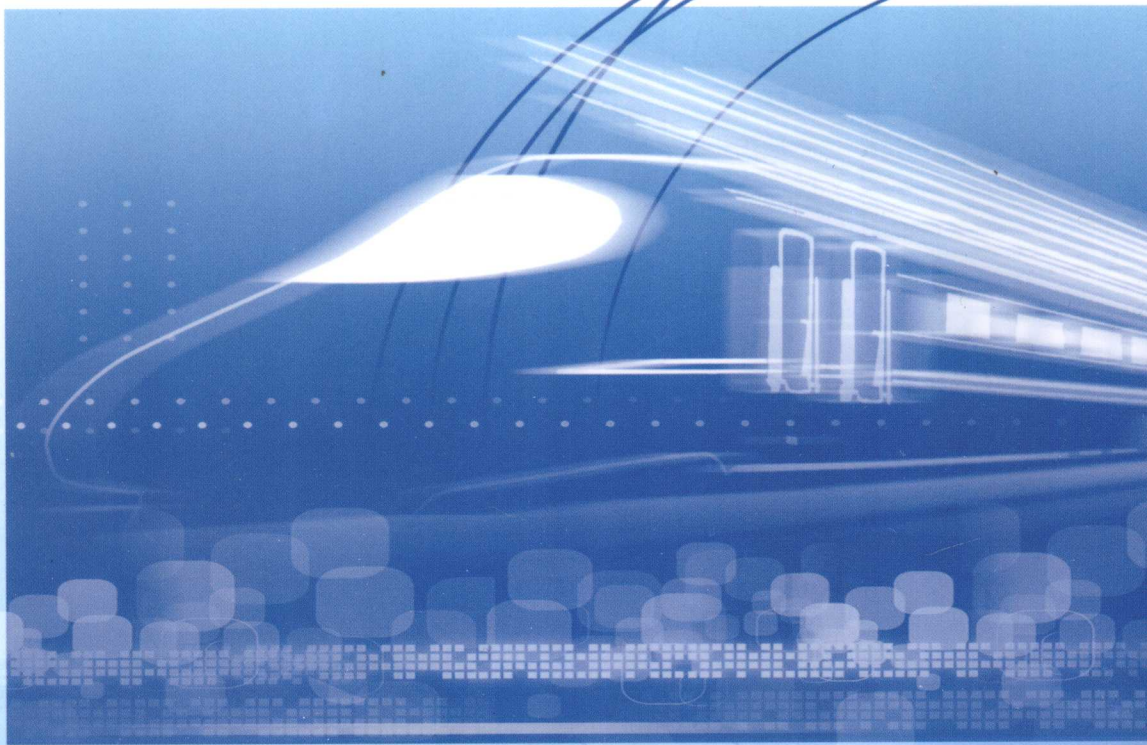




普通高等教育铁道部规划教材

动车组牵引与制动

彭俊彬 主编 刘 刚 主审



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书是普通高等教育铁道部规划教材,全面介绍动车组制动装置和动车组牵引计算理论。全书共分三篇。第一篇为动车组制动系统总论,介绍动车组制动的相关基本概念和动车组制动系统的组成及基本工作原理;第二篇为国产动车组制动系统,以 CRH1、CRH2、CRH3 和 CRH5 动车组为例,详细介绍了具体型号动车组制动系统的组成、工作原理及特点;第三篇为动车组牵引计算,在系统阐述列车牵引计算基本理论的基础上,对动车组列车的牵引计算方法进行了介绍。

本书是高等学校铁道机车车辆类和轨道交通车辆类专业教材,也可供铁路高职院校机车车辆类学生和研究动车组的工程技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

动车组牵引与制动/彭俊彬主编. —北京:中国铁道出版社,
2009.11

普通高等教育铁道部规划教材
ISBN 978-7-113-10150-3

I. 动… II. 彭… III. ①动车—牵引装置—高等学校—
教材②动车—制动装置—高等学校—教材 IV. U266

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 095244 号

书 名: 动车组牵引与制动
作 者: 彭俊彬 主编

责任编辑: 刘红梅 电话: 010-51873133 电子信箱: mm2005td@126.com
封面设计: 崔丽芳
责任校对: 孙 玫
责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
网 址: <http://www.tdpress.com>
印 刷: 三河市华丰印刷厂
版 次: 2009年11月第1版 2009年11月第1次印刷
开 本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 11.75 字数: 256千
书 号: ISBN 978-7-113-10150-3/U·2518
定 价: 26.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电(010)51873170, 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)63549504, 路电(021)73187

前 言

本书是普通高等教育铁道部规划教材,是由铁道部教材开发领导小组组织编写,并经铁道部相关业务部门审定,适用于高等院校铁路特色专业教学以及铁路专业技术人员使用。本书为铁道机车车辆类动车组系列教材之一。

铁路运输作为我国中长距离、大运量、快捷、安全、低耗、环保的运输形式,已成为交通运输体系的重要组成部分,在国民经济中占有非常重要的地位。尤其是铁路客运,每年要承担数以亿计的旅客运输,旅行高峰期更是达到日均数百万人的运量,使本来繁忙的铁路旅客运输不堪重负,运能不足的矛盾已非常突出,铁路旅客运输现状已成为制约国民经济快速发展的瓶颈。

1964年日本首次成功开行高速动车组以来,世界各国争相规划和建设高速铁路。如今,法国、德国、瑞典、意大利、西班牙、英国、韩国及我国已成功开行了高速列车,为经济发展做出了贡献。2007年4月,随着我国实施铁路第六次大提速,我国研制的高速动车组也已正式投入运营,铁路运营速度已经达到200 km/h以上;2008年8月开通的京津城际铁路设计最高速度为350 km/h;这标志着我国已经进入高速铁路国家的行列。

高速铁路(客运专线)涉及很多高新技术问题,作为铁路运输装备的高速动车组就是这些高新技术的综合和具体体现。它涉及系统集成技术、车体技术、转向架技术、制动技术、牵引传动技术、自动控制技术、网络与信息技术等。目前,在打造中国品牌高速列车的过程中,铁路行业还迫切需要大量的动车组设计与制造高级人才。在铁道部的大力支持下,以高速动车组理论培训基地教师为主,组织编写了10本适合铁道机车车辆类专业使用的动车组系列教材,本教材作为系列教材之一,主要介绍动车组制动装置和动车组牵引计算方面的内容。

牵引和制动是动车组运行中矛盾而又统一的两个方面,要实现动车组的高速运行,不仅需要大功率的牵引装置,还需要性能优良的制动装置,使其不能成为列车速度提高的障碍;除了牵引和制动方面的“硬件”,同时还必须改进“软件”,即通



过牵引计算提高操纵水平,实现动车组运行的高速、安全和节能等,使“硬件”更好地发挥作用。动车组的制动系统与传统列车有很大的不同,由于运输设备技术水平的全面提高和新的牵引制动方式的应用,动车组的牵引计算方法和标准与传统列车相比也有重大的变化。本书就是为适应上述情况,而对动车组制动装置的组成、功能和特点以及动车组列车的牵引计算方法进行系统介绍。

本书共三篇十章,主要内容包括动车组制动的相关基本概念和动车组制动系统的组成及基本工作原理、国产动车组(CRH1、CRH2、CRH3 和 CRH5 型动车组)制动系统的组成、工作原理及特点以及动车组列车的牵引计算方法。

本书由北京交通大学彭俊彬主编,胡准庆参加编写;其中,彭俊彬编写了第一章~第四章、第七章~第十章,胡准庆编写了第五章、第六章。

铁道部运输局刘刚在百忙之中审阅了全稿,并提出了许多宝贵意见,在此,对他的工作和帮助表示衷心的感谢。

由于水平所限,时间仓促,疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2009年10月于北京

目 录

第一篇 动车组制动系统总论

第一章 动车组制动系统概述	2
第一节 制动的相关概念	2
第二节 动车组制动系统的组成和特点	12
复习思考题	15
第二章 动车组制动系统的工作原理	16
第一节 电制动系统	16
第二节 空气制动系统	22
第三节 防滑装置	34
第四节 制动控制系统	39
复习思考题	48

第二篇 国产动车组制动系统

第三章 CRH2 动车组制动系统	50
第一节 CRH2 制动系统概述	50
第二节 CRH2 电制动系统	52
第三节 CRH2 空气制动系统	53
第四节 CRH2 的滑行再黏着控制	63
第五节 CRH2 制动控制系统	65
复习思考题	73
第四章 CRH5 动车组制动系统	74
第一节 CRH5 制动系统概述	74
第二节 CRH5 电制动系统	76
第三节 CRH5 空气制动系统	77



第四节 CRH5 防滑装置	81
第五节 CRH5 制动控制系统	82
复习思考题	85
第五章 CRH1 动车组制动系统	86
第一节 CRH1 制动系统概述	86
第二节 CRH1 电制动系统	92
第三节 CRH1 空气制动系统	92
第四节 CRH1 防滑装置	99
第五节 CRH1 制动控制系统	100
复习思考题	106
第六章 CRH3 动车组制动系统	107
第一节 CRH3 制动系统概述	107
第二节 CRH3 电制动系统	120
第三节 CRH3 空气制动系统	121
第四节 CRH3 防滑装置	124
第五节 CRH3 制动控制系统	125
第六节 CRH3 连挂与回送	130
复习思考题	134

第三篇 动车组牵引计算

第七章 动车组牵引计算的力学模型	136
第一节 列车牵引计算概述	136
第二节 牵引力	138
第三节 运行阻力	140
第四节 制动力	147
复习思考题	150
第八章 合力曲线、运动方程及时分解算	151
第一节 合力曲线图	151
第二节 列车运动方程	152
第三节 列车运行时分解算	155



第四节 线路纵断面化简·····	157
复习思考题·····	160
第九章 动车组制动问题解算·····	161
第一节 制动距离的计算·····	161
第二节 紧急制动限速和列车必需制动能力的计算·····	164
复习思考题·····	165
第十章 动车组牵引电算·····	166
第一节 牵引计算算法与模型概述·····	166
第二节 牵引计算的单质点模型·····	167
第三节 牵引计算的多质点模型·····	172
复习思考题·····	178
参考文献·····	179

第一篇

动车组制动系统总论

动车组制动系统总论

第一章 总论

1.1



第一章

动车组制动系统概述

第一节 制动的相关概念

一、基本概念

人为地制止列车运动,包括使其减速、阻止其运动或加速,均可称为制动。反之,对已施行制动的列车,解除或减弱其制动作用,均称为缓解。为使列车能施行制动和缓解而安装在列车上的一整套设备,总称为制动装置。

我国铁路广泛使用的空气制动装置从结构上可分为制动机和基础制动装置两个组成部分。制动机是产生制动原动力并进行操纵和控制的部分,包括制动装置中的制动缸、分配阀等;基础制动装置是传送制动原动力并产生制动力的部分,如制动装置中的制动夹钳。在动车组所使用的制动装置中,有的已不存在制动机和基础制动装置的区分(如电制动的情形)。

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,它是人为的阻力,比列车运行中由于各种原因自然产生的阻力要大得多。所以,尽管在制动过程中列车运行阻力也起作用,但起主要作用的还是列车制动力。

从列车施行制动作用开始,到其完全停住所驶过的距离称为制动距离。它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。有时也采用制动(平均)减速度作为评价指标,两者的实质是一样的;但制动距离比较具体,制动减速度则较为抽象。两者的关系可用下式表示:

$$\left(\frac{v \times 1000}{60 \times 60}\right)^2 = 2 \cdot a \cdot S \quad (1-1)$$

$$a = \frac{v^2}{2 \times 3.6^2 \times S} \quad (1-2)$$

$$\text{或 } S = \frac{v^2}{2 \times 3.6^2 \times a} \quad (1-3)$$

式中 v ——施行制动时的列车初速度,简称“制动初速”,km/h;

S ——制动距离,m;

a ——列车在制动距离内的平均减速度, m/s^2 。

为确保行车安全,世界各国都要根据本国铁路的情况(主要是列车速度、信号和制动技术等)制订出自己的制动距离标准——紧急情况下制动距离的最大允许值,又称计算制动距离。



有时也给出制动减速度标准。我国《铁路技术管理规程》(简称《技规》)原来规定的紧急制动距离为 800 m,但随着列车速度的提高,制动距离的标准也要相应加长(否则会使制动过程的速度过大)。如对于国产 CRH 系列的动车组,当制动初速度为 160 km/h 时,规定紧急制动距离为 1 400 m;当制动初速度为 200 km/h 时,紧急制动距离为 2 000 m;当制动初速度为 300 km/h 及以上时,紧急制动距离超过 3 000 m。

二、制动对动车组的意义

对于动车组来说,制动的重要性早已不仅仅是安全问题了,它已成为限制列车速度进一步提高的重要因素;要想做到列车的“高速”,除了要有大的牵引功率之外,还必须有足够强的制动能力。

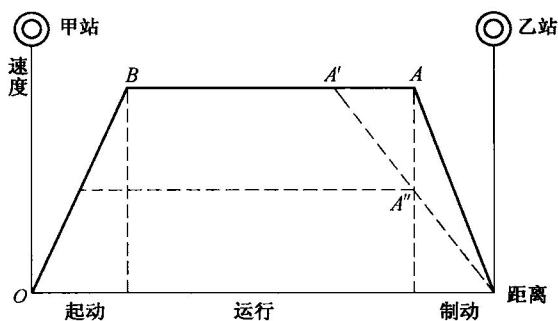


图 1-1 列车制动能力对速度的影响

图 1-1 表示列车从甲站出发,经起动、匀速运行和制动工况在乙站停车的过程。在一定制动能力的保证下,动车组从图中 A 点开始减速进站。如制动能力不足,则必须从 A' 点就开始制动,从而延长了制动距离,影响了行车效率;若想在原来的减速距离内停车,则列车运行的速度在起动阶段只能提升至 A' 点的水平。从能量的角度来看,列车的制动能量和速度的平方成正比关系,时速 200~350 km 动车组的制动能量达到普通列车的 4~10 倍,可见,能力强大的制动装置对于保证动车组的高速、安全运行有着至关重要的意义。

三、制动方式的分类

制动方式有多种分类标准,本书主要介绍如下三种:

1. 按动能的转移方式分

列车制动过程中动能的转移方式包含两层含义:一是“转”的方式,即将列车动能转化为其他形式的能量;二是“移”,即如何将转化出的其他形式的能量消耗掉。以闸瓦制动为例,“转”就是将列车动能通过闸瓦与车轮踏面的摩擦转化为热能,“移”就是将由动能转化成的热能耗散于大气。按动能的转移方式,动车组所采用的制动方式主要有以下几种:

(1) 盘形制动



盘形制动是在车轴上或车轮辐板侧面安装制动盘,制动时用制动夹钳使两个闸片紧压制动盘侧面,通过摩擦产生制动力,将列车动能转变成热能耗散于大气,如图 1-2 所示。

与闸瓦制动相比,盘形制动有下列主要优点:

- ① 可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”。
- ③ 制动平稳,几乎没有噪声。

因此,与闸瓦制动相比,盘形制动更适合于高速动车组。

(2)电阻制动

电阻制动曾在动车组上大量应用。它是在制动时将原来驱动轮对的自励牵引电动机变为他励发电机,由轮对带动发电,并将电流通往专门设置的电阻器,采用强迫通风使热量耗散于大气,从而产生制动作用。

(3)再生制动

与电阻制动相似,再生制动也是将牵引电动机变为发电机。不同的是,它将电能反馈回电网,使本来由电能变成的列车动能再生为电能,而不是变成热能耗散掉。

显然,再生制动比电阻制动更加经济。因此,20 世纪 90 年代后再生制动在各国的动车组上获得了广泛应用。

(4)磁轨制动

磁轨制动是在转向架两个侧架下面同侧的两个车轮之间各安装一个电磁铁,制动时将它放下并利用电磁吸力紧压钢轨,通过电磁铁上的磨耗板与钢轨之间的滑动摩擦产生制动力,把列车动能变为热能耗散于大气,如图 1-3 所示。

磁轨制动的制动力不是通过轮轨黏着(详见本节“2. 按制动力的形成方式分”相关内容)产生,不受轮轨间黏着力限制,因而能在黏着力以外再获得一份制动力。磁轨制动与其他制动方式配合,可共同产生较高的制动力;在紧急制动时使用,可满足高速动车组对制动距离的要求。

(5)轨道涡流制动

轨道涡流制动与磁轨制动相似,也是把电磁铁悬挂在转向架侧架下面同侧的两个车轮之间。不同的是,电磁铁在制动时只下放到离轨面几毫米处,而不与钢轨接触。它利用电磁铁和钢轨相对运动产生的罗伦兹力作为制动力。电磁铁和钢轨的相对运动使钢轨感应出涡流,从能量的角度来看,轨道涡流制动是将列车的动能

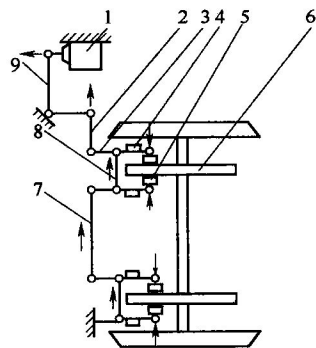


图 1-2 盘形制动装置

- 1—制动缸;2—拉杆;3—水平杠杆;
- 4—缓解弹簧;5—制动闸片;6—制动盘;
- 7—中间拉杆;8—水平杠杆拉杆;9—转臂

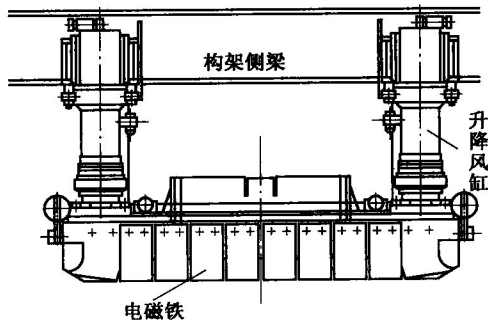


图 1-3 磁轨制动装置



转换为电能,再转换为热能耗散于大气。

(6) 旋转涡流制动

旋转涡流制动是在车轴上装有金属盘,制动时金属盘在电磁铁形成的磁场中旋转,盘的表面感应出涡流并产生罗伦兹力,从而产生制动作用。旋转涡流制动的能量转换过程与轨道涡流制动类似。旋转涡流制动广泛应用于日本新干线 100 系、300 系和 700 系动车组的拖车上。

(7) 翼板制动

翼板制动尚处于试验之中,是一种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。

2. 按制动力的形成方式分

(1) 轮轨摩擦与黏着

根据刚体平面运动学的分析,对于沿钢轨自由滚动的车轮,车轮和钢轨的接触点在它们接触的瞬间是没有相对运动的,轮轨之间的纵向水平作用力就是物理学上说的静摩擦力,其最大值——“最大静摩擦力”是一个与运动状态无关的常量,它等于钢轨对车轮的垂向支持力与静摩擦系数的乘积。

轮轨间的静摩擦是一种难以实现的理想状态。首先,车轮和钢轨在很大的压力作用下都有变形,轮轨间是椭圆面接触(从侧面看是线接触而非点接触)。如图 1-4 所示,由于闸片摩擦力矩的作用,轮周上位于轮轨接触部位左、右两侧的部分分别处于拉伸和压缩状态,而钢轨上位于轮轨接触部位左、右两侧的部分状态正好与车轮相反。随着车轮的滚动,轮轨接触部位的轮周会发生从拉伸到压缩的状态转变,而接触部位钢轨的状态转变情况则与之相反,因而轮轨之间必然存在相对滑动。其次,由于车轮踏面是圆锥形,加之列车运

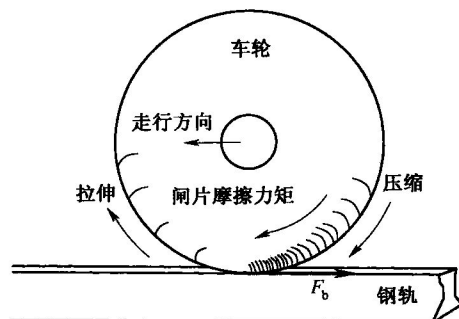


图 1-4 制动时轮轨表面的变形状态

行中不可避免地要发生冲击和各种振动,也会使得车轮在钢轨上滚动的同时必然伴随着微小的纵向和横向滑动。总之,车轮在钢轨上的运动不是纯粹的“静摩擦”状态,而是“静中有微动”或“滚中有滑”,轮轨间纵向水平作用力的最大值比物理上的“最大静摩擦力”要小得多。

因此,铁路牵引和制动理论在分析轮轨间的纵向力问题时,不用“静摩擦”这个名词,而用“黏着”来代替它。相应地,黏着状态下轮轨间纵向水平作用力的最大值就称为黏着力,而把黏着力与轮轨间垂向载荷的比值称为黏着系数。而且,为便于应用,还假定轮轨间的垂直载荷在运行中固定不变,即黏着力的变化完全是由于黏着系数的变化引起的。这样,黏着力与运动状态的关系被简化为黏着系数与运动状态的关系。这时,黏着系数也就成了假定值(称为计算黏着系数),但由于它和假定不变的垂直载荷的乘积等于实际的黏着力,该假定用于黏着力计算是可行的,实际上也都是这样用的(以后凡是提到黏着系数,如无特别说明,均指假定值)。



(2) 黏着系数的影响因素

黏着系数的影响因素主要有两个：一个是轮轨接触面的表面状况，另一个是列车运行速度。

轮轨接触面的表面状况包括：干湿情况、脏污程度以及是否有锈等。轮轨的湿度、脏污程度又与天气、环境污染状况和制动装置的形式（如有无踏面清扫装置）等因素有关。天气因素包括：下雨与否、雨量大小和持续时间、有无霜雪等。轮轨干燥而清洁时黏着系数较大；轮轨刚刚潮湿，或有霜雪、油污时黏着系数明显减小。但如果连续大雨，钢轨被冲刷得很洁净，则钢轨虽然很湿，黏着系数也不会小。轨面生锈对黏着系数的影响是双方面的：薄薄的一层黄锈可使黏着系数增大，但锈层较厚，特别是有点湿润的棕色锈层，反而会使黏着系数明显减小。

列车运行速度对黏着系数的主要影响是：随着制动过程中列车速度的降低，冲击振动以及伴随而来的纵向和横向的少量滑动都逐渐减弱，因而黏着力和黏着系数也逐渐增大，其增大的程度与列车的动力性能、轨道的情况等有关。

由此可见，黏着系数的影响因素复杂多变，难以用理论方法确定；黏着系数的计算公式都是在大量试验的基础上，结合运用经验，根据平均值整理得到的。而且，黏着系数的变化范围很大，很难以一条曲线来表示，通常给出两条曲线，即给出一个范围。我国经试验研究得出的可供中国机车车辆设计时选用的制动黏着系数公式为：

$$\text{干燥轨面} \quad \mu = 0.0624 + \frac{45.6}{v + 260} \quad (1-4)$$

$$\text{潮湿轨面} \quad \mu = 0.0405 + \frac{13.5}{v + 120} \quad (1-5)$$

式中 v ——列车运行速度，km/h。

其相应的曲线如图 1-5 所示。这种黏着系数随列车运行速度变化的曲线称为黏着特性

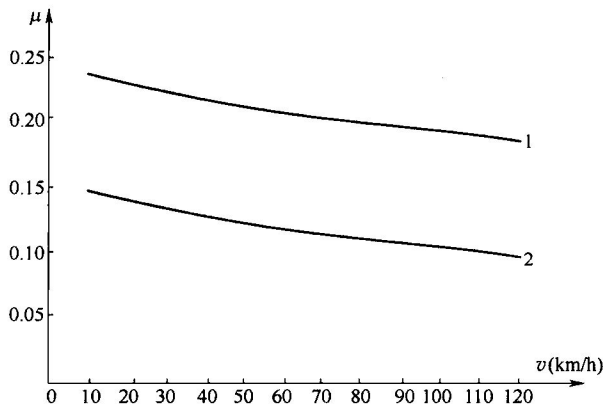


图 1-5 中国铁路推荐使用的实测黏着特性曲线

1—干燥轨面；2—潮湿轨面



曲线。黏着特性曲线是动车组对制动力进行控制的依据,任何工况下,制动系统所产生的制动力都不应超过根据黏着特性计算出的值(因制动力要受到轮轨之间黏着力限制),否则就会打滑。

日本新干线和德国高速铁路动车组黏着系数的经验公式如下:

$$\text{日本(干轨)} \quad \mu = \frac{27.2}{v+85} \quad (1-6)$$

$$\text{日本(湿轨)} \quad \mu = \frac{13.6}{v+85} \quad (1-7)$$

$$\text{德国(干轨)} \quad \mu = 0.116 + \frac{9}{v+42} \quad (1-8)$$

$$\text{德国(湿轨)} \quad \mu = 0.7 \times \left(0.116 + \frac{9}{v+42} \right) \quad (1-9)$$

(3) 黏着制动与非黏着制动

按照制动力的形成方式,制动方式可分为黏着制动和非黏着制动。前者是通过轮轨间的黏着作用产生制动力,且制动力的最大值受黏着力限制;一旦轮轨间的作用力超过了轮轨黏着的限制,就会打滑。而非黏着制动方式则无需通过轮轨黏着产生制动力,其制动力的大小自然也就不受其限制。

在各国高速动车组所采用的制动方式当中,除磁轨制动和轨道涡流制动外(二者较少采用),其他方式一般说来都属于黏着制动。因此,黏着特性曲线对高速运行的动车组的制动力控制有着至关重要的作用。

3. 按制动力的操纵控制方式分

按制动力的操纵控制方式,动车组所采用的制动方式可分为空气制动、电空制动和电制动三类。

(1) 空气制动

空气制动又分为直通式空气制动和自动式空气制动两种。

1) 直通式空气制动

直通式空气制动是较早出现的空气制动方式,其结构如图 1-6 所示。机车上的空气压缩机(风泵)1 产生压缩空气并送入机车上的总风缸 2 储存。

参看图 1-6,当机车上操纵全列车制动作用的制动控制阀 4 的手柄置于制动位 I 时,总风缸的压缩空气便进入贯通全列车的制动管 5。制动管包括贯通每辆车的制动主管、端部的制动软管和软管连接器以及由每根主管中部接出的制动支管。进入制动管的压缩空气可经由每辆车的制动支管“直通”其制动缸 6,推动制动缸内的活塞右移,压缩其背后的缓解弹簧 7,使活塞杆 8 向外伸出,从而使装于制动杠杆 9 下端的闸瓦托及闸瓦 10 紧压车轮,产生制动作用。

当制动控制阀手柄置于保压位 II 时,总风缸、制动管和大气三者之间的通路均被隔断,制

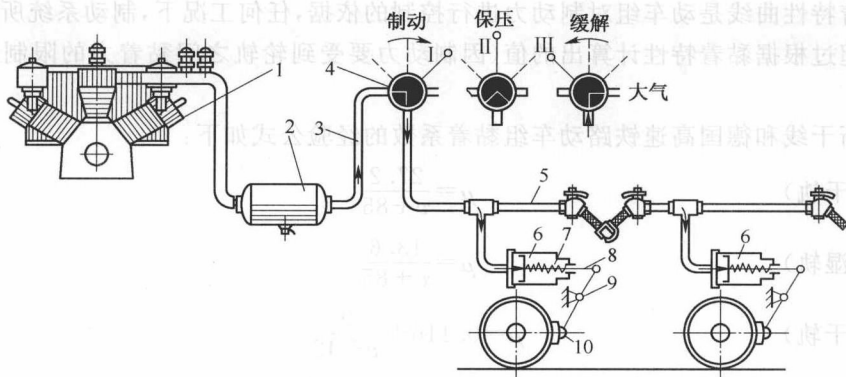


图 1-6 直通式空气制动机

1—空气压缩机(风泵);2—总风缸;3—总风缸管;4—制动控制阀;5—制动管;6—制动缸;
7—缓解弹簧;8—活塞杆;9—制动缸杆及其支点;10—闸瓦及瓦托

动管和制动缸的空气压强保持不变。如在制动缸升压过程中将手柄反复置于制动位和保压位,可使制动缸空气压强呈阶段式上升,这种作用称为“阶段制动”,如图 1-7 左半部分所示。

当制动控制阀手柄置于缓解位 III 时,制动缸和制动管的压缩空气均可由制动控制阀排往大气。制动缸活塞在缓解弹簧的复原力推动下左移,使活塞杆向缸内缩回,闸瓦离开车轮,制动状态得到缓解。如在制动缸降压过程中将手柄反复置于缓解位和保压位,可使制动缸压强呈阶段式下降,这种作用称为“阶段缓解”,如图 1-7 右半部分所示。

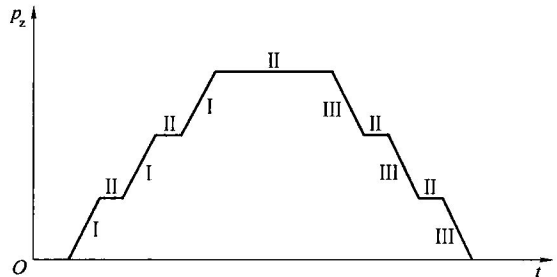


图 1-7 阶段制动和阶段缓解
I—制动位; II—保压位; III—缓解位

直通式空气制动的特点是:制动管直接通向制动缸(直通),制动管充气(增压)时制动缸也充气(增压),发生制动;制动管排气(减压)时制动缸也排气(减压),发生缓解。它的优点是构造简单,并且既有阶段制动,又有阶段缓解,便于调节制动力。缺点是当列车发生分离事故,制动软管被拉断时,将彻底丧失制动能力;而且,由于制动时所有车辆的制动缸都靠机车上的总风缸经制动管供气,缓解时各车制动缸的压缩空气都需经制动管从机车上的制动控制阀处排出,因此,列车前后部制动和缓解发生的时间差大,会造成较强的纵向冲击,不适于编组较长的列车。所以,列车的制动操纵后来就改用了自动式空气制动。



2) 自动式空气制动

自动式空气制动装置的基本组成和原理如图 1—8 所示。与直通式制动装置相比,每辆车上多了三通阀 6(“三通”指的是:一通制动管,二通副风缸,三通制动缸;有些自动式空气制动装置中的“分配阀”与此处的三通阀功能相同,但结构更为复杂)和副风缸 8。

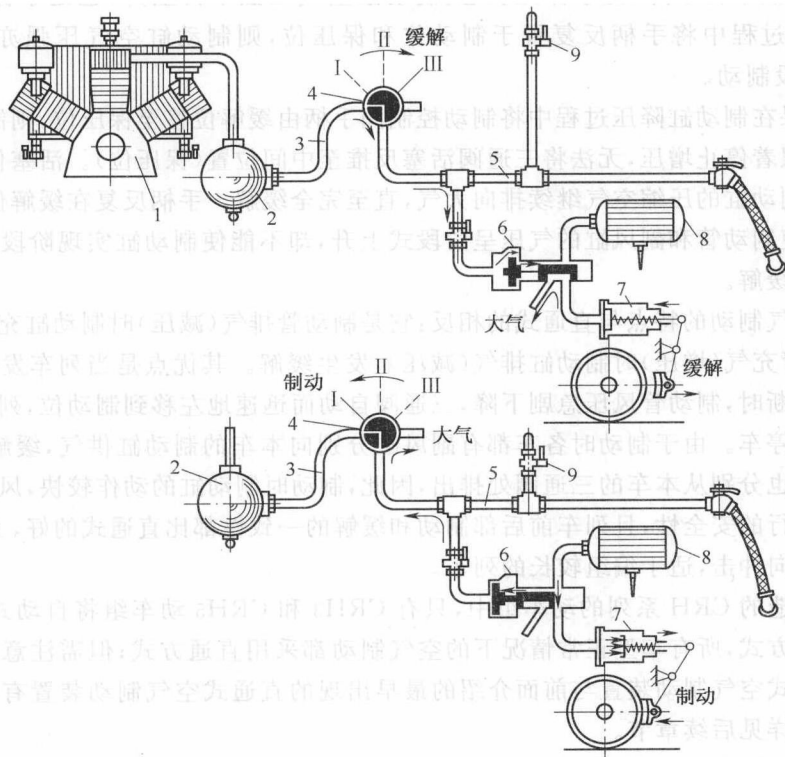


图 1—8 自动式空气制动机

1—空气压缩机;2—总风缸;3—总风缸管;4—制动控制阀;5—制动管;
6—三通阀;7—制动缸;8—副风缸;9—紧急制动阀(车长阀)

当制动控制阀手柄置于缓解位Ⅲ时,总风缸的压缩空气经制动控制阀进入制动管(增压),并进入三通阀 6,将三通阀内的活塞推至右极端(缓解位),并经活塞上部的充气沟进入副风缸 8。此时,制动缸 7 则经三通阀通大气;如制动缸原来处于制动状态,则可得到缓解。

当制动控制阀手柄置于制动位Ⅰ时,制动管经制动控制阀通大气(减压),副风缸 8 的气压将三通阀 6 的活塞推向左极端(制动位),打开三通阀通往制动缸的孔路,使副风缸的压缩空气通往制动缸,产生制动作用。



当制动控制阀手柄置于保压位Ⅱ时,制动管既不通总风缸也不通大气,制动管空气压强保持不变。此时,副风缸仍继续向制动缸供气,副风缸空气压强仍在下降。当副风缸空气压强降至比制动管空气压强略低时,制动管气压会将三通阀活塞向右反推至中间位置(中立位或保压位),恰好使三通阀通制动缸的孔被关闭;于是,副风缸停止向制动缸供气,副风缸空气压强不再下降,处于保压状态;制动缸空气压强不再上升,也处于保压状态。如在制动缸升压过程中将手柄反复置于制动位和保压位,则制动缸空气压强亦可分阶段上升,即实现阶段制动。

但是,如果在制动缸降压过程中将制动控制阀手柄由缓解位移至保压位,则制动管停止增压,副风缸也跟着停止增压,无法将三通阀活塞反推至中间位置(保压位)。活塞仍停留在右极端(缓解位),制动缸的压缩空气继续排向大气,直至完全缓解。手柄反复在缓解位和保压位之间移动,只能使制动管和副风缸的气压呈阶段式上升,却不能使制动缸实现阶段缓解,即只能实现一次彻底缓解。

自动式空气制动的特点与直通式的相反:它是制动管排气(减压)时制动缸充气(增压),发生制动;制动管充气(增压)时制动缸排气(减压),发生缓解。其优点是当列车发生分离事故,制动软管被拉断时,制动管风压急剧下降,三通阀自动而迅速地左移到制动位,列车可自动、迅速地制动直至停车。由于制动时各车都有副风缸分别向本车的制动缸供气,缓解时各车制动缸的压缩空气也分别从本车的三通阀处排出,因此,制动时制动缸的动作较快,风压上升也快,提高了列车运行的安全性,且列车前后部制动和缓解的一致性都比直通式的好,大大缓解了列车运行中的纵向冲击,适于编组较长的列车。

在我国制造的 CRH 系列的动车组中,只有 CRH3 和 CRH5 动车组将自动式空气制动作为备用的制动方式,所有车型正常情况下的空气制动都采用直通方式;但需要注意的是,动车组所使用的直通式空气制动装置与前面介绍的最早出现的直通式空气制动装置有所不同,其结构和工作原理详见后续章节。

(2) 电空制动

电空制动就是电控空气制动的简称,它是在空气制动机的基础上,每辆车加装电磁阀等电气控制部件而形成的。电空制动的特点是制动的操纵控制用电,制动作用的原动力还是来自压缩空气;当制动机的电控失灵时,仍可实行空气压强控制,临时变成空气制动机。

图 1-9 所示为自动空气制动机加装电控部件的情况,其工作原理如下:制动时各车的制动电磁阀 6 的排气口同时打开,将制动管 1 的压缩空气排往大气,产生制动作用。缓解时各车的缓解电磁阀 8 的通路同时打开,使各车的加速缓解风缸 5 同时向制动管 1 充气(加速缓解风缸 5 的压缩空气是制动管 1 经过三通阀 2 向副风缸 3 充气时经过止回阀 9 充入的;由于此止回阀的作用,制动时加速缓解风缸的压缩空气没有使用)。保压时缓解电磁阀 8 的通路被关闭,保压电磁阀 7 将三通阀的排气通路切断,所以,三通阀的主活塞此时虽然停留在充气缓解位,制动缸经三通阀与排气口相通,但不通大气,制动缸空气压强保持不变。