



高等教育“十三五”规划教材

轨道交通系列

全国行业紧缺人才、关键岗位从业人员培训推荐教材

电力机车制动技术

DIANLI JICHE

ZHIDONG JISHU

主 编 李晋武 石光耀 王润国
副主编 谢利民
主 审 李 立



北京交通大学出版社

<http://www.bjtu.cn>

高等教育“十三五”规划教材·轨道交通系列
全国行业紧缺人才、关键岗位从业人员培训推荐教材

电力机车制动技术

主 编 李晋武 石光耀 王润国
副主编 谢利民
主 审 李 立

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书介绍了我国现阶段各主型电力机车制动机的结构、部件、制动机控制关系、综合作用、工作原理与试验等内容。全书共分为制动基本知识、风源及管路系统、DK-1 型电空制动机、网络化控制技术 & 列车控制网络概论、基础制动装置、CCB II 制动机、法维莱 Eurotrol 制动机、车辆制动机、制动技术的发展趋势及研究对象和方法简介等知识。由浅入深，图文并茂，以实用为主，对读者了解我国当代电力机车制动技术理论及操作有较大帮助。

本书可供铁路高等院校电力机车专业学生使用，同时可供现场机务运用、检修及相关工程技术人员参考。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力机车制动技术 / 李晋武, 石光耀, 王润国主编. — 北京: 北京交通大学出版社, 2016. 4

ISBN 978-7-5121-2711-1

I. ① 电… II. ① 李… ② 石… ③ 王… III. ① 电力机车-车辆制动 IV. ① U264. 91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 079764 号

电力机车制动技术

DIANLI JICHE ZHIDONG JISHU

策划编辑: 张 亮

责任编辑: 陈跃琴

助理编辑: 陈可亮

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010-51686414

<http://www.bjtu.cn>

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编: 100044

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 mm×260 mm 印张: 15.75 字数: 394 千字

版 次: 2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-2711-1/U · 227

印 数: 1~1 500 册 定价: 36.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

本书结合《电力机车运用与检修专业人才培养方案》和《电力机车制动机课程标准》的教学要求,针对我国现阶段电力机车制动技术发展变化的新特点,为适应铁路牵引动力高速发展的需要,培养与其相适应的高素质人才而编写。

“电力机车制动技术”是电力机车运用及检修专业的一门主干课程。本书主要包括制动基本知识、风源及管路系统、DK-1 型电空制动机、基础制动装置等基础知识。随着当前具有国际先进水平的和谐系列大功率交流传动客运、货运机车的批量投入使用,书中也重点介绍了和谐电力机车网络化控制基本知识、CCB II 制动机、法维莱 Eurotrol 制动机的结构、原理,探讨了高速重载制动技术的发展趋势及研究对象和方法,还介绍了车辆制动机原理。本书是一本既适合理论教学,又贴近生产实际的教材。

通过理论和实践教学,使学生具备从事电力机车运用与检修岗位工作所必需的制动机的基本知识和基本技能。本书从制动基本理论、传统的 DK-1 型制动机的知识入手,以此为基础,循序渐进,由浅入深,达到帮助学生理解掌握和谐机车安装使用的 CCB II 及法维莱制动机原理的目的。

本教材适用于高等院校电力机车运用与检修专业在校学生学习使用,以及现场相应技术人员工作参考。

本书由兰州交通大学李晋武、石光耀、王润国主编,谢利民任副主编。由兰州铁路局机车车辆验收室李立主审。本书第 1 章由李晋武编写;第 2 章、第 3 章、第 4 章及第 5 章中 5.1、5.2 节由石光耀编写;第 5 章 5.3 节、第 6 章、第 7 章由王润国编写;第 8 章由兰州交通大学曹振国编写;第 9 章由兰州交通大学谢利民编写。

由于时间紧,任务重,书中难免有所疏漏。不足之处,恳请有关专家、学者批评指正。

编 者
2015-06-16

目 录

第 1 章 制动基本知识	1
1.1 制动基本概念及其在铁路运输中的意义	1
1.1.1 制动基本概念	1
1.1.2 制动在铁路运输中的意义	2
1.2 制动方式及制动机的种类	3
1.2.1 制动方式	3
1.2.2 制动机种类	3
1.3 制动方式及制动机工作原理简介	4
1.3.1 空气制动机	4
1.3.2 轨道电磁制动	8
1.3.3 线性涡流制动 (轨道涡流制动)	9
1.3.4 旋转涡流制动	9
1.3.5 电阻制动	10
1.3.6 再生制动	10
1.3.7 手 (人力) 制动机	10
1.3.8 真空制动机	10
1.3.9 液力制动	10
1.3.10 储能制动	10
1.4 制动常用术语解释	12
1.5 制动指令及其传输	13
复习思考题	14
第 2 章 风源及管路系统	15
2.1 风源系统	15
2.1.1 风源系统的构成	15
2.1.2 压缩机分类及工作原理	16
2.2 风源系统附件	27
2.2.1 止回阀和逆流止回阀	27
2.2.2 安全阀	27
2.2.3 油水分离器	27
2.2.4 空气干燥器	28
2.3 典型机车的风源管路及控制、辅助管路系统	31
2.3.1 部分 SS 系列电力机车空气管路系统	31

2.3.2 HX _D 1C 型电力机车的部分管路系统	31
复习思考题	36
第3章 DK-1 型电空制动机	37
3.1 概述	37
3.1.1 DK-1 型电空制动机的主要特点	37
3.1.2 DK-1 型电空制动机的组成	38
3.1.3 DK-1 型电空制动机的控制关系	41
3.2 DK-1 型电空制动机主要气动部件	41
3.2.1 空气制动阀	41
3.2.2 中继阀	45
3.2.3 分配阀	48
3.2.4 紧急阀	55
3.2.5 电动放风阀	58
3.3 DK-1 型电空制动机主要电器部件	59
3.3.1 电空制动控制器	59
3.3.2 电空阀	61
3.3.3 调压阀	61
3.3.4 压力开关	61
3.3.5 转换阀	61
3.3.6 机车无动力装置	62
3.3.7 重联阀	62
3.4 DK-1 型电空制动机的综合作用	62
3.4.1 DK-1 型电空制动机电空位的综合作用	63
3.4.2 DK-1 型电空制动机空气位的综合作用	71
3.4.3 DK-1 型电空制动机与机车其他系统的配合	73
3.5 DK-1 型电空制动机的试验规则	82
3.6 DK-1 型电空制动机的操作规程	86
复习思考题	88
第4章 网络化控制技术及列车控制网络概论	90
4.1 网络化控制系统 (NCS) 概述	90
4.2 列车控制网络技术概述	91
4.2.1 列车控制网络连接车厢内的可编程设备及实现的作用	92
4.2.2 目前全球主要应用在列车上的通信网络	92
4.3 HX _D 1 型交流传动电力机车微机网络控制系统	96
4.3.1 网络和控制系统的结构	96
4.3.2 机车的主要控制功能	99
4.4 HX _D 3 型交流传动货运电力机车微机网络系统	101
复习思考题	106

第5章 基础制动装置	107
5.1 基础制动装置的种类	107
5.1.1 闸瓦制动的的基础制动装置	107
5.1.2 盘形制动的的基础制动装置	109
5.1.3 基础制动装置分类	110
5.2 典型基础制动装置简介	112
5.2.1 DF ₄ 内燃机车基础制动装置	112
5.2.2 SS系列电力机车单元制动器	113
5.2.3 部分HX电力机车轮盘制动装置	114
5.3 防滑控制器简介	128
复习思考题	132
第6章 CCB II 制动机	133
6.1 CCB II 制动机的特点	133
6.2 CCB II 制动机的基本组成	135
6.2.1 主要部件	135
6.2.2 主要部件的构造及作用	135
6.3 EPCU 各模块的组成及工作原理	140
6.3.1 EPCU 各模块的组成及原理	140
6.3.2 CCB II 制动机的控制关系	157
6.4 CCB II 制动机的综合作用	158
6.5 系统主要部件的备份	173
6.6 制动系统模式的设置及制动机试验	174
复习思考题	179
第7章 法维莱 Eurotrol 制动机	180
7.1 法维莱制动机主要组成部件及作用原理	181
7.2 制动控制单元 BCU	195
7.2.1 BCU 硬件	195
7.2.2 BCU 软件	196
7.3 法维莱制动机综合作用	203
7.4 法维莱制动机日常试验	204
复习思考题	206
第8章 车辆制动机	207
8.1 104 型空气制动机	207
8.1.1 104 型制动机的组成	207
8.1.2 104 型分配阀	208
8.2 F-8 型空气制动机	213
8.3 120 型空气制动机	216
8.4 车辆电空制动机	222
8.4.1 104 型电空制动机	222

8.4.2 F-8 型电空制动机 223

复习思考题..... 229

第 9 章 制动技术的发展趋势及研究对象和方法简介..... 230

9.1 高速列车制动技术特点 230

9.2 重载列车制动的纵向动力作用 232

9.3 重载列车制动装置的技术特点 234

9.4 制动系统的研究对象与研究方法简介 235

复习思考题..... 236

附录 A CCB II 制动机英文代号及首字母缩略词详解 237

参考文献..... 243

第 1 章

制动基本知识

1.1 制动基本概念及其在铁路运输中的意义

制动装置是机车车辆的重要组成部分。制动技术，或者说列车制动机性能是铁路运输实现“高速、重载”目标的关键性前提条件之一。

1.1.1 制动基本概念

制动是人为地、有控制地对运行着的列车施加阻力，以使列车减速或停车，或使停放的机车车辆继续保持停放状态的作用。实现制动作用的力称为制动力。

制动力是由制动装置产生的与列车运行方向相反的一种外力，它是人为的阻力。这一外力只能是钢轨施加于车轮与列车运行方向相反（与钢轨平行）的力。

对已经施行制动的列车，解除或减弱其制动作用叫缓解。列车在运行途中加速或启动加速前要解除制动作用，即施行缓解作用。

为实现列车的制动和缓解而安装在列车上的一整套设备称之为列车制动装置。列车制动装置由机车制动装置和车辆制动装置组成。机车制动装置除了具有使它自身制动和缓解的设备外，还具有操纵全列车制动作用的设备。

制动装置一般由制动机和基础制动装置组成。制动机是通过对其操纵和控制进而产生制动原动力的部分。基础制动装置是传送并扩大制动原动力的部分。

列车在运行过程中实施的制动作用又可分为常用制动和紧急制动（非常制动）。

常用制动是列车在正常调速和进站时经常采用的一种制动作用。其制动力上升速度较低，其值较小，大小由司机控制，达到阻止列车加速或使其减速甚至停车的目的。在各种制动作用中，常用制动的实施频率最高。

紧急制动是列车在非正常情况下，为使列车迅速停车而实施的一种制动作用。其制动力比较猛烈且达到最大值。

从司机将机车的制动手柄置于制动位起，到列车停车，列车所行驶的距离称为制动距

离。制动距离是综合反映列车制动装置的性能和实际效果的重要技术指标。制动距离越短，列车的安全系数就越大，但为保持列车运行的平稳性，提高旅客的舒适性，制动距离不能太短。我国《铁路技术管理规程》规定，在不同的最高运行速度时，列车紧急制动距离按不同情况分别不超过：

旅客列车：速度 120 km/h 时，800 m；

速度 140 km/h 时，1 100 m；

速度 160 km/h 时，1 400 m；

速度 200 km/h 时，2 000 m。

货物列车：① 货车轴重 < 25 t，快速货物班列除外。

速度 90 km/h 时，800 m；

速度 120 km/h 时，1 400 m。

② 货车轴重 ≥ 25 t，速度 100 km/h 时，1 400 m；

③ 快速货物班列，速度 120 km/h 时，1 100 m；

④ 特快货物班列，速度 160 km/h 时，1 400 m。

1.1.2 制动在铁路运输中的意义

铁路运输的发展，不仅要增大机车功率，提高列车运行速度和牵引重量，同时，提高列车制动力的意义也是非常大的。例如，列车运行于甲、乙两站间，如图 1-1 所示。列车由甲站发车，行驶了 s_0 距离加速至 v_1 。 s_0 为起动加速距离，其长短决定于机车牵引功率的大小。若需要列车在乙站停车，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 点处，其制动距离为 s_1 。若另一 B 列车的制动功率较小，则需提前于 b 点开始施行制动，制动距离为 s_2 。由于 B 列车减少了高速行驶的时间，于是 B 列车的技术速度低于 A 列车。若另有一 C 列车没有制动装置（或制动装置失效），仅靠自然的阻力使之停车，则该列车必须在距乙站更远的 c 点开始惰行，它的惰行距离为 s_3 。显然，C 列车的技术速度更低。为了保障行车安全，我国在新制定的《铁路技术管理规程》中规定了列车在任何线路上的紧急制动距离，例如普通货物列车以 90 km/h 速度运行时，紧急制动距离不超过 800 m。假如上例中的 s_1 等于 800 m，则对于 B、C 列车在此区间的运行速度，必须分别限制为 v_2 和 v_3 。这样就降低了列车的区间运行速度，降低了铁路的通过能力。

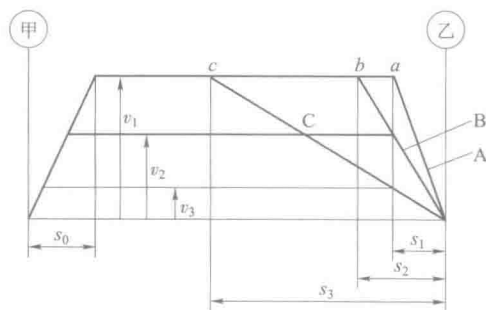


图 1-1 制动力、区间速度与制动距离的关系

所以，制动装置的重要意义在于：一方面，列车的制动能力要满足列车在运行的任何情

况下的减速或停车要求,确保行车安全;另一方面,提高列车的运行速度,提高牵引重量,是提高铁路运输能力的重要前提条件。衡量一个国家的铁路运输水平,首先要看该国能制造出多大牵引力的机车,但同时牵引与制动是互相促进和制约的,没有先进的制动技术就没有现代化的铁路运输。

1.2 制动方式及制动机的种类

制动过程的实质是一种能量转换的过程。列车制动装置是实现将列车运行过程中巨大的动能转化为其他形式的能量,从而使列车减速或停车的一种装置。

1.2.1 制动方式

1. 按照动能转移的方式分类

① 摩擦制动:即通过摩擦把列车的动能转化为热能,然后热能消散于大气之中。这种制动方式是各种列车必须具备的最基本制动方式。摩擦制动有闸瓦制动、盘形制动和磁轨制动几种制动方式。

② 动力制动:即使动能转化为电能或热能,再将电能从车上转移出去或将热能消散于大气的制动方式。动力制动有电阻制动、再生制动、轨道涡流制动和旋转涡流制动几种制动方式。

2. 按照制动力的形成方式分类

① 黏着制动:制动力的形成依赖于轮轨之间的黏着关系,其制动力的大小受黏着限制,即超过黏着力,则列车要产生滑行。黏着制动有闸瓦制动、盘形制动、电阻制动、再生制动和旋转涡流制动几种方式。

② 非黏着制动:制动力的形成不依赖于轮轨之间的黏着关系,其制动力的大小不受黏着限制,即制动力再大,列车也不产生滑行。非黏着制动有磁轨制动和轨道涡流制动几种制动方式。

3. 按照制动原动力的来源分类

① 空气制动方式:以压缩空气为动力的制动方式,如闸瓦制动、盘形制动等。

② 电气制动方式:以电为原动力的制动方式,如动力制动。

1.2.2 制动机种类

1. 以用途的不同分类

以用途的不同可分为机车制动机、货车制动机、客车制动机和动车组制动机等。

2. 以控制方式的不同分类

① 空气制动机:制动指令的发出、传递、制动力的产生和控制都需要压力空气,如 JZ-7、104、120 型空气制动机等。

② 电空制动机:在空气制动机基础上引入电空(电磁、电子、微机或网络微机)部分组成,如 DK-1 型电空制动机、104 型电空制动机、F-8 型电空制动机、CCB II、法维莱、各型 CRH 动车组用制动机等。微机或网络微机控制的制动机,是现在及今后制动机的发展

方向。

1.3 制动方式及制动机工作原理简介

1.3.1 空气制动机

空气制动机是以压力空气作为制动原动力，通过改变制动管压力空气的压强变化来控制制动力变化的制动机。其制动力大，控制灵敏便当，应用最为广泛。我国铁路习惯把压力空气简称为“风”，把空气制动机简称为“风闸”。

空气制动机根据不同的作用原理又可分为直通式空气制动机和自动空气制动机。

1. 直通式空气制动机

(1) 早期直通式空气制动机

1869年，美国工程师乔治·韦斯汀豪斯发明了世界上第一台直通式空气制动机，使列车的制动技术由人力阶段进入了机力阶段，实现了制动技术质的飞跃。其基本组成如图1-2所示：由制造压力空气的空气压缩机，储存压力空气的总风缸，操纵列车制动机作用的制动阀，贯通全列车的制动管，和将空气压力转换为机械推力的制动缸等组成。

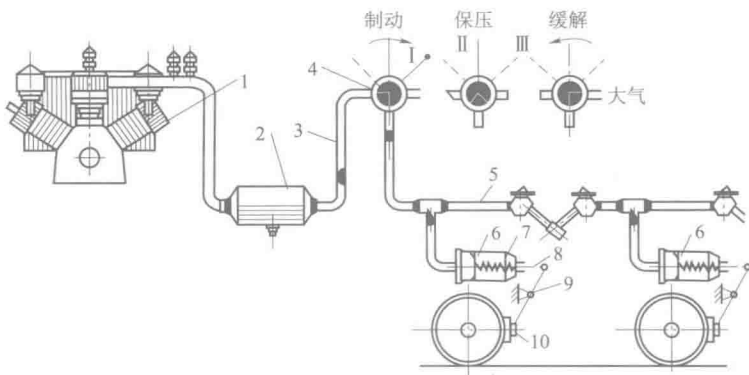


图 1-2 直通式空气制动机原理图

- 1—空气压缩机；2—总风缸；3—总风缸管；4—制动阀；
5—制动管；6—制动缸；7—制动缸缓解弹簧；
8—制动缸活塞杆；9—基础制动装置；10—闸瓦

作用原理：制动阀手柄有制动、保压和缓解三个作用位。制动阀手柄置 I 位（制动位）时，总风缸的压力空气经制动阀、制动管进入各车辆的制动缸，使制动缸活塞杆推出，闸瓦压紧车轮，列车产生制动作用；制动阀手柄移至 II 位（保压位或中立位）时，总风缸、制动管和大气之间的通路均被遮断，制动缸和制动管保持压力不变；制动阀手柄移至 III 位（缓解位）时，制动管及所有制动缸压力空气经制动阀排气口排出，制动缸活塞被缓解弹簧推回，闸瓦离开车轮踏面，列车制动状态得到缓解。

早期直通式空气制动机的特点：构造简单，用制动阀可直接调节制动缸压力，具有阶段制动和阶段缓解作用性能，对于很短的列车，操作方便灵活。但不适用于较长列车，特别在

当列车发生车钩分离事故时,整个列车会失去制动控制。为此,美国工程师乔治·韦斯汀豪斯在直通制动机的基础上,研制了自动空气制动机。

(2) 直通式电空制动机

随着控制技术的发展,由于直通制动机结构简单等优点,目前在干线及地铁电动车组中采用直通式电空制动机,制动缸的压力空气由微机控制下的 EP 阀转换,并经中继阀,传输到制动计算机的制动指令是电气指令。这就利用了直通制动机适合于编组少列车的优点。同时,采用电气控制,整个列车的制动缓解一致性好、冲击小,能实现列车分离后前后部的自动迅速停车,并能自动实现诸如车内发生火灾、空气弹簧故障等情况下的安全制动。列车设有备用制动,备用制动有电气备用制动和空气备用制动两种方式,以备在电控系统发生故障时,能维持列车运行,不致导致机破。其原理如图 1-3 所示。

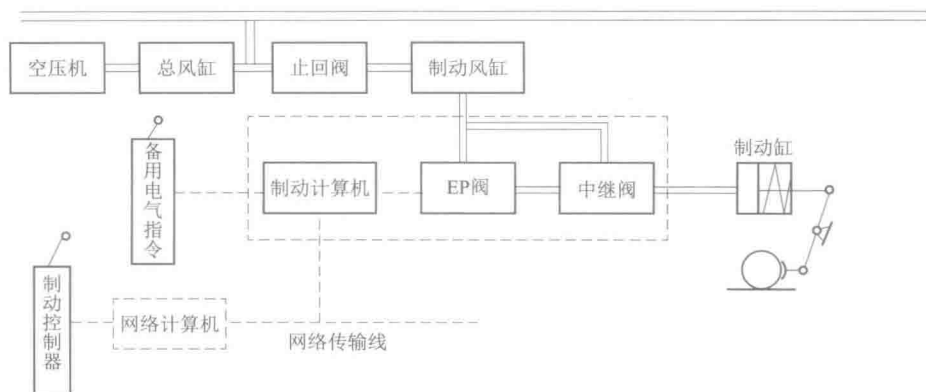


图 1-3 采用电气指令微机控制的直通式电空制动机原理框图

2. 自动空气制动机

1) 传统自动空气制动机

与直通式空气制动机相比,传统自动空气制动机在每辆车上增加了三通阀(分配阀或控制阀)及副风缸。自动空气制动是机车车辆最基本的制动方式,也是必须要配置的制动方式。

副风缸在缓解位储存好本车制动机制动时所需的压力空气,制动时,各制动缸的压力空气就近取自本车的副风缸;缓解时,各制动缸的压力空气经本车的三通阀排气口排出。因而列车前后部各车辆的制动作用和缓解作用的产生过程均较快,一致性比较好,可有效地缩短制动距离,减小列车的纵向冲击力,适用于编组较长的列车。现阶段,我国列车上均采用的是自动空气制动机。自动空气制动机的制动和缓解作用与制动管压力变化关系是:制动管减压时制动,增压时缓解。当列车发生车钩分离事故或人员拉动紧急制动手柄时,制动管即减压,全列车均能够自动产生制动作用而停车。

(1) 传统自动空气制动机的组成

传统自动空气制动机的组成如图 1-4 所示。

① 空气压缩机和总风缸是列车空气制动装置的动力系统。空气压缩机制造 800~900 kPa 的压力空气;总风缸用来贮存空气压缩机制造的压力空气,供全列车制动系统使用。

② 给风阀将总风缸的压力空气调整至规定压力后,经自动制动阀充入制动管。

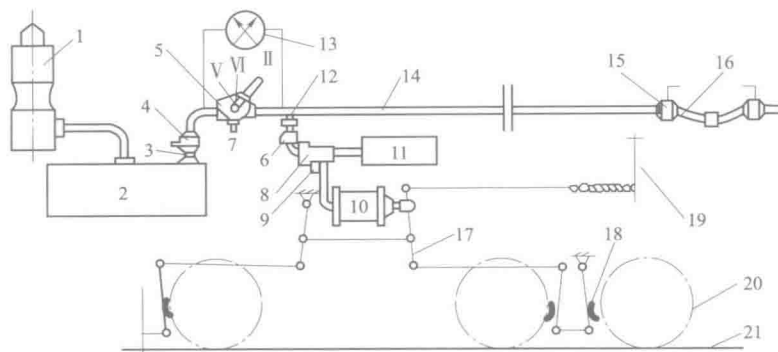


图 1-4 传统自动空气制动机的组成

- 1—空气压缩机；2—总风缸；3—总风缸管；4—给风阀；5—自动制动阀；6—远心集尘器；7—制动阀排气口；
8—三通阀（分配阀或控制阀）；9—三通阀（分配阀或控制阀）排气口；10—制动缸；11—副风缸；
12—截断塞门；13—双针压力表；14—制动管；15—折角塞门；16—制动软管；17—基础制动装置；
18—闸瓦；19—手制动装置；20—车轮；21—钢轨

③ 自动制动阀是操纵列车空气制动系统的部件。通过它向制动管充入压力空气或将制动管压力空气排向大气，以操纵列车制动系统产生不同的作用。

④ 制动管是贯通全列车的空气导管。通过它向列车中各车辆的制动装置输送压力空气，并通过自动制动阀控制管内压力空气的压力变化来实现操纵列车各车辆制动机产生相应的作用。

⑤ 三通阀（分配阀或控制阀）是机车车辆空气制动装置的主要部件。它和制动管连通，根据制动管空气压力的变化情况，产生相应的作用位置，从而控制向副风缸充入压力空气的同时，把制动缸内压力空气排向大气，实现制动机缓解作用，或者将副风缸内压力空气充入制动缸产生制动机的制动作用。

⑥ 副风缸是车辆制动机储存压力空气的装置，也是制动时制动缸的动力源。

⑦ 制动缸在制动时，用来把副风缸送来的空气压力变为机械推力。

⑧ 基础制动装置在制动时，将制动缸活塞推力放大若干倍并传递到闸瓦，使闸瓦压紧车轮产生制动作用；缓解时，依靠其自重使闸瓦离开车轮实现制动机的缓解作用。

⑨ 闸瓦、车轮和钢轨是制动时的能量转换部分，是实现制动作用的三大要素。制动时，闸瓦压紧转动着的车轮踏面后，闸瓦与车轮间的摩擦力借助钢轨，使钢轨在与车轮接触点上产生与列车运行方向相反（与钢轨平行）的反作用力即制动力。

（2）传统自动空气制动机的基本作用原理

三通阀与制动管、副风缸、制动缸相通，并设有大气通路。内部装有一个气密性良好的主活塞及带孔道的滑阀、节制阀。主活塞外侧通列车管，内侧通副风缸。当制动管内压力空气的压力发生变化时，二者之间产生压力差，此压力差是主活塞动作的动力，推主活塞带动节制阀、滑阀移动，形成不同的作用位置，实现以下各种作用。

① 充气缓解位（图 1-5（a））。

司机将自动制动阀手柄置于充气缓解位时，总风缸内的压力空气经过自动制动阀向制动管输入，主活塞外侧压力增大。当压力大于内侧副风缸压力时，主活塞带动节制阀、滑阀内移，开放充气沟，制动管的压力空气经充气气路进入副风缸储存起来（其压力最后可达到与制动管规定压力相等），准备制动时使用。同时滑阀连通制动缸和三通阀排气口，若制动

缸内有压力空气，则经排气口排入大气。这就形成副风缸充气，制动缸缓解作用，实现了制动机充气及缓解作用。

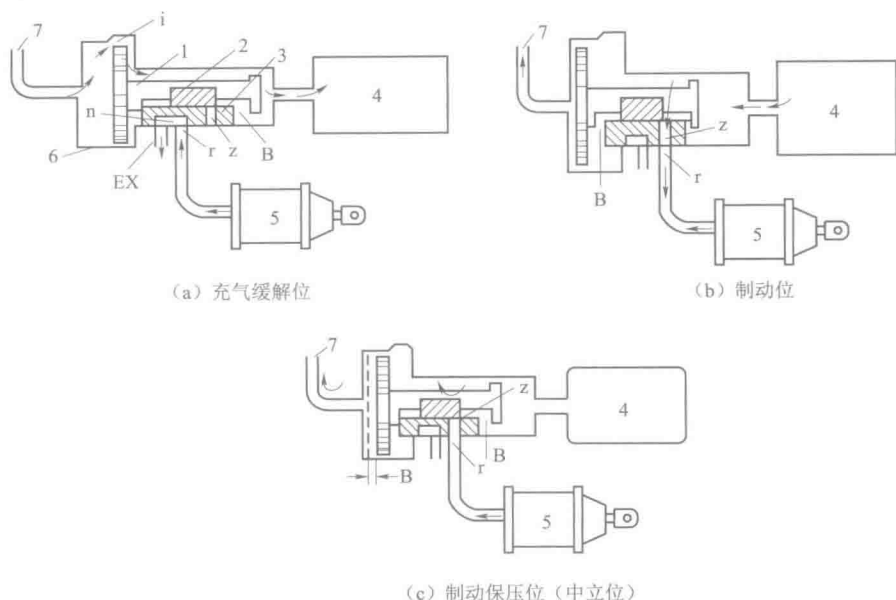


图 1-5 三通阀工作原理图

1—主活塞及主活塞杆；2—节制阀；3—滑阀；4—副风缸；5—制动缸；6—三通阀；7—制动管；
i—充气沟；B—间隙；z—滑阀制动孔；EX—排气口；r—滑阀座制动缸孔；n—滑阀缓解联络槽

② 制动位（图 1-5（b））。

司机将自动制动阀手柄置于制动位时，自动制动阀将制动管内压力空气排入大气，三通阀主活塞外侧压力下降。当主活塞外侧压力低于内侧副风缸压力时，主活塞带动节制阀、滑阀向外移动，移动到滑阀与滑阀座上的孔路将副风缸和制动缸连通时，副风缸内压力空气经滑阀与滑阀座上的制动气路进入制动缸，实现制动机的制动作用。

③ 制动保压位（中立位）（图 1-5（c））。

制动后，司机将自动制动阀手柄由制动位移向制动保压位，制动管停止向外排气，也不能由自动制动阀充气，制动管压力保持不变。由于三通阀仍处在制动位置，副风缸内压力空气通过滑阀与滑阀座上的孔路继续充入制动缸，副风缸（滑阀室）的压力继续下降。当压力降到稍低于制动管压力时，主活塞带动节制阀向内移动至接触滑阀时止（滑阀未动），节制阀将滑阀上的副风缸与制动缸通路遮断（滑阀制动孔被节制阀盖住），副风缸停止向制动缸充气，制动缸内压力不再上升。由于滑阀仍处于制动位，制动缸内压力并没有减少，即形成制动保压作用。

上述的三通阀动作是以制动管压力与副风缸压力二者之间产生的压力差作为主活塞动作的动力，故称为二压力制动机，其特点是具有阶段缓解与一次缓解的特点。制动管压力升高到主活塞动作的量，则制动缸压力就一次降为零，具有一次缓解性能，具有“软”特性。二压力制动机有 120、104 型等。

还有一种制动机，其分配阀主机机构的动作是由制动管、制动缸（间接作用式为作用风

缸) 和一个被称为工作风缸 (其压力一般保持制动管定压不变) 这三者压力之差, 决定制动机的动作, 其具有阶段制动和阶段缓解的特点。对于工作风缸压力保持制动管定压不变的三压力制动机, 由于要完全缓解, 制动管压力必须升至定压, 所以这种制动机的特性“硬”。当然, 通过采取措施, 也可以使三压力制动机的特性变“软”, 甚至变为二压力制动机。三压力制动机有应用在客车上的 F-8 型制动机; 既具二压力特性, 又具三压力“软”特性的制动机有 JZ-7 型制动机。

2) 电空自动制动机

电空自动制动机是在自动空气制动机基础上引入电空 (电磁、电子、微机或网络微机) 部分组成。司机操纵电控制动系统设备产生电信号, 利用电信号控制制动机, 使制动管压力变化, 从而实现列车的制动与缓解。

现今的电空自动制动机也基本都有备用制动, 备用制动有电气备用制动和空气备用制动两种方式, 以备在电控系统发生故障时能维持列车运行, 不致导致机破。这种制动机的主要优点是全列车能迅速产生制动和缓解作用, 列车前后部制动机动作一致性较好, 列车纵向冲击小, 制动距离短, 适用于高速、重载列车。目前, 我国主要将其使用在快速旅客列车、高速动车组上, 国外长大货物列车上也已使用。我国还在大秦铁路运煤专线试验货物列车上使用电空制动系统 (ECP)。可以预见, 不久的将来, 我国货运也将采用电空制动技术。如图 1-6 所示为电气指令微机控制自动式电空制动机原理框图。

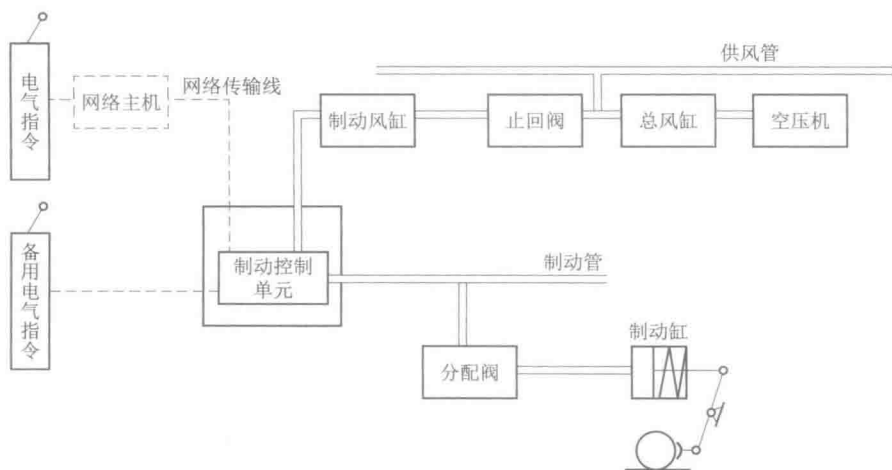


图 1-6 电气指令微机控制自动式电空制动机原理框图

1.3.2 轨道电磁制动

这种制动方式的装置是在转向架两组轮对之间距轨面适当高度处悬装电磁铁或永久磁铁。在制动时, 电磁铁落下, 并接通激磁电源使之产生吸力而吸附在钢轨上, 通过摩擦产生制动作用。这种制动不受轮轨间黏着系数的限制, 能在保证旅客舒适性的条件下有效地缩短制动距离, 但重量较大, 增加了车辆的自重并加速了钢轨的磨损。轨道电磁制动通常仅在紧急制动时作为一种辅助制动方式, 在黏着力不能满足紧急制动需要的高速列车上使用, 但到目前为止, 我国还未采用。其原理如图 1-7 所示。

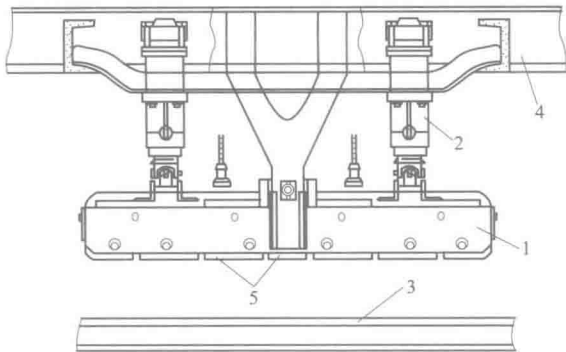


图 1-7 轨道电磁制动原理

1—电磁铁；2—升降风缸；3—钢轨；4—励磁线圈；5—磨耗板

1.3.3 线性涡流制动（轨道涡流制动）

在每一个转向架上设有可起落的电磁铁，司机操纵制动时，将安装在转向架构架侧梁下的电磁铁降到离轨道表面上方 7~10 mm 的位置，并通电励磁。由于电磁铁和轨道的相对运动，由法拉第电磁感应定律可知，当通过闭合回路的磁通量发生变化时，将在钢轨中产生感应电动势，形成感应电流。由楞次定律可知，感应电流的方向总是趋向使感应电流本身所产生的通过回路面积的磁通量去补偿，或者说反抗引起感应电流的磁通量的改变。以图 1-8 中钢轨上的 A 点为例，若磁铁的磁感线进入钢轨（N 极），则当磁铁的运动接近 A 点时，则 A 点附近的钢轨中产生的感应电流形成的磁感线将由钢轨指向磁铁（N 极）；而当磁铁的运动远离 A 点时，则 A 点附近的钢轨中产生的感应电流形成的磁感线将由磁铁指向钢轨（S 极）。这样就产生如图 1-8 所示的涡流制动力，形成制动效果，从而产生阻力并使钢轨发热，列车动能转化为热能，最终消散于大气。这种制动形式的缺点是励磁消耗电能大，钢轨内部发热影响线路稳定性，还会影响轨道电路的通信，制动时增加了轴重，低速时制动效果差。

1.3.4 旋转涡流制动

旋转涡流制动是在牵引电机轴上装金属涡流盘，在金属盘两侧安装电磁铁。在制动时，使电磁铁通电励磁，安装在轮轴上的金属涡流盘在磁场中旋转，盘的表面感应出涡流，使涡流盘发热，列车动能转化为热能，最终消散于大气。其原理如图 1-9 所示。

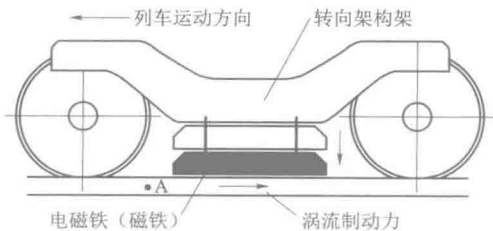


图 1-8 轨道涡流制动原理

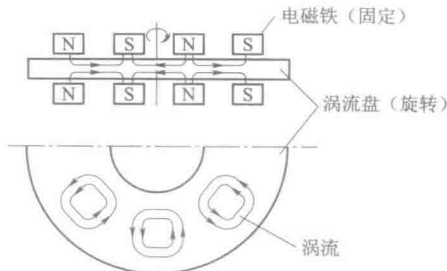


图 1-9 旋转涡流制动原理