

高等职业教育城市轨道交通车辆专业系列规划教材



轨道交通车辆制动机 维护与运用



管春玲 李瑞荣 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等职业教育城市轨道交通车辆专业系列规划教材

轨道交通车辆制动机维护与运用

管春玲 李瑞荣 主 编

宋朝斌 主 审

中国铁道出版社

2014年·北京

内 容 简 介

本书采用项目任务式模式编写,各个任务由任务导入、相关知识、任务实施三个模块组成。全书内容包括五个项目,分别为:克诺尔模拟电空制动机供风部分的检修、克诺尔模拟电空制动机控制部分的检修、克诺尔模拟电空制动机执行部分的检修、防滑与空气悬挂系统的检修、制动系统故障案例、检修及调试。各项目附有复习思考题供学生学时用。

本书可作为高等职业院校机车车辆类、轨道交通车辆类专业课程的教材,也可作为高等专科学校、成人高校教学用书及有关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

轨道交通车辆制动机维护与运用/管春玲,李瑞荣

主编. —北京:中国铁道出版社,2014.8

高等职业教育城市轨道交通车辆专业系列规划教材

ISBN 978-7-113-18959-4

I. ①轨… II. ①管… ②李… III. ①轻轨车辆—制
动器—高等职业教育—教材 IV. ①U270.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 188728 号

书 名:轨道交通车辆制动机维护与运用

作 者:管春玲 李瑞荣 主编

策 划:阚济存

责任编辑:阚济存 编辑部电话:51873133 电子信箱:td51873133@163.com

封面设计:崔丽芳

责任校对:龚长江

责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:三河市航远印刷有限公司

版 次:2014年9月第1版 2014年9月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:15 字数:440 千

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 978-7-113-18959-4

定 价:32.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

由于地铁的舒适、快捷和便利,近十几年来,我国许多大城市都已建成或在建地铁,其运营速度也从 $60\sim 70\text{ km/h}$,提高到了 120 km/h 左右甚至更高。通常列车的制动功率要比牵引功率大 $5\sim 10$ 倍,因此当地铁运营速度不断提升的同时,实际也对列车的制动功率提出了更高的要求。特别是由于地铁站间距离短,车辆需要频繁启动与制动,使车辆制动技术面临着更为严峻的挑战,也逐渐得到了世人的关注。

制动系统是城市轨道交通车辆核心技术之一,是集机械制造、机电工程、网络控制、计算机、电力电子、自动化控制等技术于一身的综合系统。地铁车辆上的制动系统不是独立的系统,而是与空气悬挂系统、可实现电制动的牵引系统、列车网络及列车控制电路等有密切联系的系统。正因为制动系统与其他系统之间的这种联系,使城市轨道交通车辆制动系统在运用与检修方面,均有别于传统制动系统,特别是故障诊断方面,需要将制动系统与空气悬挂系统、牵引系统、列车网络及列车控制电路等各系统综合分析,才有可能准确查找故障原因。

本书针对从事制动系统检修与维护工作岗位所需求的知识和技能进行分析,提取典型工作任务、工作过程,根据相应的工作任务强化学生制动系统维护与检修的技能训练,使学生既能熟知制动系统结构组成零部件,又能掌握制动系统及零部件的维护、拆装、检修、调试及故障分析等技能。

地铁车辆制动产品种类繁多,与地铁车辆制动技术相关的书籍也不少,但针对生产工作任务编写的教材不多。为满足因地铁快速发展,急需培养一大批能够从事制动系统检修与维护的技能型人才的需要,本书以地铁车辆上广泛应用的德国克诺尔公司制动产品进行讲解,既包括德国克诺尔(KNORR)公司生产的 KBGM-P型车控式制动系统,又包括该公司的 EP2002 架控式制动系统,并根据两套制动系统典型的生产工作任务及工作过程,在教材内容中编写了具有实际指导意义的作业指导书,以方便教师开展实践教学及学生进行实践练习,旨在缩短课堂与工作岗位之间的距离,提高培养效率。

本书由广州铁路职业技术学院管春玲、李瑞荣主编,深圳地铁集团有限公司宋朝斌主审。编写分工为:广州铁路(集团)公司广州动车段许迎杰(项目 1)、管春玲(项目 2)、李瑞荣(项目 3)、广州动车段高延财、广州铁路职业技术学院邱晓欢(项目 4)、深圳地铁集团有限公司温志强(项目 5)。

教材编写过程中还得到广州铁路职业技术学院王亚妮、张秀平、袁泉和广州

动车段陈振虹以及广州地铁公司及刘龙、张颖、苏志才、刘永华等工程师的热情支持与帮助,在此编者表示衷心感谢!

由于我国城市轨道交通车辆制动技术发展日新月异,书中的图片、技术资料和技术数据与实际情况必定存在差异,仅供参考。鉴于编者的水平有限,书中难免有错误或不妥之处,敬请读者多提宝贵意见,给予批评指正。

编 者

2014 年 2 月

目 录

项目 1 克诺尔模拟电空制动机供风系统的检修	1
任务 1 供风模块检修	1
任务 2 空气压缩机检修	34
任务 3 空气干燥器检修	54
复习题	64
项目 2 克诺尔模拟电空制动机控制部分的检修	65
任务 1 电子制动控制单元 EBCU 检修	66
任务 2 制动控制单元 BCU 检修	79
任务 3 辅助控制单元 ACU 检修	106
任务 4 EP2002 制动控制系统检修	128
复习题	149
项目 3 克诺尔模拟电空制动机执行部分的检修	151
任务 1 闸瓦制动装置检修	151
任务 2 盘形制动装置检修	164
复习题	174
项目 4 防滑与空气悬挂系统的检修	176
任务 1 克诺尔模拟电空制动机防滑系统的检修	176
任务 2 空气悬挂系统检修	192
复习题	205
项目 5 制动系统故障案例、检修及调试	207
任务 1 案例分析	207
任务 2 制动系统检修	215
任务 3 制动系统调试	220
复习题	227
参考文献	228

项目 1 克诺尔模拟电空制动机供风系统的检修

根据轨道交通车辆检修工及制动技术专职技术人员等岗位的能力需求,以克诺尔供风系统常见故障检修的实际工作过程为导向,依据故障常见部位及类型,将供风系统检修内容分为三个学习任务,并通过真实故障案例导入学习任务,以帮助学生构建处理供风系统故障时所需的知识和技能。

学习任务	学习目标		
	知识目标	能力目标	素养目标
任务1 供风模块检修	制动概况; 供风系统组成、配置; 供风模块风路图、设备布置、主要参数; 供风模块组成、功用、原理; 供风系统各组成部件	正确操作供风系统; 维护供风模块; 检修维护供风模块各组成部件	严格遵守企业规章制度,具有良好职业道德和敬业精神; 服从企业生产指挥调度,具有严格执行检修工艺流程、检修工艺要求的工作态度和行为规范; 树立团队合作意识; 树立实事求是的科学态度; 培养分析解决问题的能力
任务2 空气压缩机检修	压缩机功能、类型; 压缩机结构; 压缩机工作原理	正确运输、安装压缩机; 检查、维护压缩机; 处理压缩机故障; 大修压缩机	
任务3 空气干燥器检修	空气干燥器功能、类型; 空气干燥器结构; 空气干燥器工作原理; 空气干燥器的技术要求	正确安装空气干燥器; 检查、维护干燥器; 干燥器故障处理	

任务 1 供风模块检修



任务导入

供风模块用于产生并储存用气设备所需的压缩空气,属于制动系统范畴,是制动系统中的不可缺少的一部分。国内各种地铁车辆上供风系统和制动设备在列车上的配置情况虽有所不同,但供风系统的结构组成却基本相同,均由压缩机单元、干燥器、风缸、滤油器、安全阀及管路附件等组成,集成安装在供风模块(ASM)上。供风模块使用过程中常出现一些突发故障,为

准确、有效地处理供风模块故障,需系统的掌握制动知识,以提高解决实际问题的能力。

对电动地铁车辆而言,当总风压过低需要应急操作时,可由脚泵为升弓装置控制回路供风。



相关知识

一、制动概述

新型地铁是由动车、拖车固定编组而成的列车,为了能实施制动或缓解制动,每节动车和拖车都有自己的制动装置,固定编组连通之后,动车和拖车上的制动装置接通形成完整的列车制动系统,并由带有司机驾驶室的头车统一操纵。

对地铁车辆而言,列车制动系统性能的好坏,不仅影响到列车的最大运行速度和牵引功率,还直接影响到列车能否安全运行,在规定的范围内或规定的安全制动距离内能否可靠地停车,列车制动系统俨然已成为决定行车安全的重要因素之一。如果列车丧失制动力,其后果将不堪设想,旅客的生命和财产安全将直接受到严重威胁。因此,要实现准点、安全的行车目标,对地铁列车而言,不仅要提高列车的牵引功率,更要切实解决好列车制动问题。

(一)制动基本概念

1. 制动的基本概念

人为地制止物体的运动,包括使其减速、阻止其运动或加速,均可称为制动。反之,对已经施行制动的物体,解除或减弱其制动作用称为缓解,包括阶段缓解和彻底缓解。

对于运行中的列车,欲使其停车或减速,需施加制动作用;对运行中加速或静止需要启动的列车,需要解除制动作用,即施行缓解作用。

2. 制动力

要改变运动物体的运动状态,必须对它施加外力。人为地使列车减速或阻止其加速,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”。

制动力对列车而言是一种外力,是通过列车以外的物体产生并施加于列车上的一种阻力。制动力强调人为的施加外力作用,即制动力的大小可进行调整,通过制动力大小的调节可产生不同的制动效果。

在列车运行过程中,制动力比列车运行阻力大得多,这是使列车减速、安全停车或阻止列车加速的主要作用力。与牵引力相同的是,黏着制动也受黏着条件限制。

3. 制动参数

从司机施行制动(将司机控制手柄移至制动位)的瞬间起,到列车速度降为零的瞬间止,列车所驶过的距离,称为列车“制动距离”。

制动距离越短,列车的安全系数越大。有的国家不用制动距离而用(平均)减速度作为其主要技术指标,两者的本质是相同的,只是制动距离比较直观,而减速度较为抽象而已。

“制动距离”和“减速度”均是反映列车制动装置性能和实际制动效果的主要综合技术指标,两者的关系如下:

$$s=\frac{v^2}{2\times3.6^2\times\alpha}$$

(1.1)

式中 v ——施行制动时的列车初速度,km/h;
 s ——制动距离,m;
 α ——列车在制动距离内的平均减速度,m/s²。

旅客列车在任何线路坡道上,不同初速度运行条件下的紧急制动距离与减速度参数极限值见表 1.1。

表 1.1 紧急制动距离与平均减速度

最高运行速度(km/h)	紧急制动距离(m)	平均减速度(m/s ²)
≤ 80	190	≤1.22
120	800	≤ 0.69
140	1 100	≤0.69
160	1 400	≤0.70
200	2 000	≤0.77

(二)列车制动技术

列车制动过程实质就是能量转换过程,将列车上巨大的动能转化为另一种形式的能量,并从列车上迁移出去,将列车的动能消耗殆尽,使列车实现制动停车的目的。根据制动时列车能量的转化、迁移形式的不同、制动指令形式及内容的不同、制动源动力的不同,可形成风格迥异的制动技术。

1. 人力制动

自 1810 年英国人斯蒂芬森发明火车,1825 年英国建成世界上第一条铁路开始,到 1829 年斯蒂芬森驾驶的“火箭”号机车创造时速 56 km 的速度纪录之后,铁路交通运输事业便进入了蓬勃发展的新时代。但此时的火车技术远不够完善,致命的缺点就是刹车不灵,经常导致行车事故。

当时的列车是靠人工制动的,用人力来操纵实现制动和缓解的制动机称为人力制动机。

火车上的人力制动机十分原始,仅装在车头上,全凭司机的体力扳动闸把来刹车,很难使沉重的列车迅速停下来。后来改为每节车辆(厢)上都安装一个单独的机械制动闸,配备一个专门的制动员。需要减速或停车时,由司机发出信号,各个制动员再狠命按下闸把,协同动作使闸瓦靠紧车轮踏面,用摩擦力将列车的动能转化为热能消耗掉,以使车轮或车轴的转动减速或停止,实现制动减速或停车的目的。

经过改造,人工机械制动还先后出现过杠杆拨动式闸瓦制动装置、手轮式棘盘链条制动机等,但由于其源动力为人力,制动力小,制动时既费力又不安全,时常会发生钢丝断裂以致车辆失控的事故,基本已退出制动历史舞台。但这种人力机械制动结构简单,不受动力的限制,任何时候都可使用,因此在铁路车辆上还保留了这种制动机,作为辅助制动装置,在空气制动机发生故障、调车作业或停放时使用。

2. 空气制动

人力制动机的高风险和低效能使很多人曾致力于研究改进火车制动装置,最终获得成功的是一位美国人——威斯汀豪斯(George Westinghouse),他产生了利用压缩空气来驱动火车

制动闸的想法。基于这个想法,威斯汀豪斯制成了新型的空气制动机,通过增加一台由机车带动的空气压缩机,制动时将阀门打开,压缩空气便经过管道送往各个车厢的汽缸,推动汽缸活塞,将闸瓦压紧车轮使列车制动。

1868年,年仅23岁的威斯汀豪斯凭借这套灵敏可靠的空气制动装置,取得空气制动闸的专利权,并于1869年在美国宾夕法尼亚铁路上首次使用了用压力空气来操纵的列车制动机——直通式空气制动机。

然而,威斯汀豪斯设计的直通式空气制动机并不像他想像的那样受到英国工程师们的支持。因为在1870年,英国人认为,直通式空气制动机可以有效地操纵列车制动,但并不能证明它们在“安全”方面也是那么有效,在列车分离时列车就不能自动制动。威斯汀豪斯听取了当时英国人总结出来的,制动机所必须具备的几个方面的特点,回到了美国,并于1872年发明了自动式空气制动机,制造出了第一个三通阀,解决了列车分离时制动力丧失的问题。直到今天,空气制动机仍是列车运行的安全保障。

3. 真空制动

真空制动机的特点是以大气与真空的压强差为原动力,以改变“真空度”来操纵控制,如图1.1所示。

当制动阀手柄置于制动位时,列车管与大气相通,大气进入列车管和制动缸活塞下方。由于抽气完成时球形止回阀已落下处于关闭状态,大气压力只能将它压住而关闭阀口,故大气不能进入活塞上方。活塞上、下形成压力差,推动活塞上移,滚圈首先遮盖止回阀室小孔,然后滚动到小孔的下方,保证大气不经止回阀滑到上方,活塞杆缩向缸内而发生制动作用。

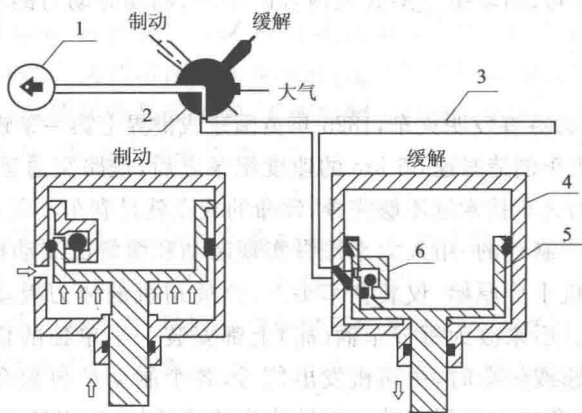


图 1.1 真空制动机工作原理图

1—真空泵;2—真空制动阀;3—列车管;4—真空制动缸;5—活塞;6—止回阀

当制动阀手柄置于缓解位时,真空泵与列车管连通,真空泵将列车管和制动缸内的空气抽走,列车管和制动缸内上下两方都保持高度真空(约 68 kPa),车辆上的制动缸上方的空气经过活塞上的止回阀流向制动主管,因而活塞上、下真空度相等,活塞依靠自重下移,活塞杆向下伸出,列车缓解。当列车发生列车分离或制动软管破裂时也能自动产生制动作用。

真空制动缸的构造如图 1.2 所示,主要组成部件是上部缸体、下部缸体、活塞及活塞杆等。

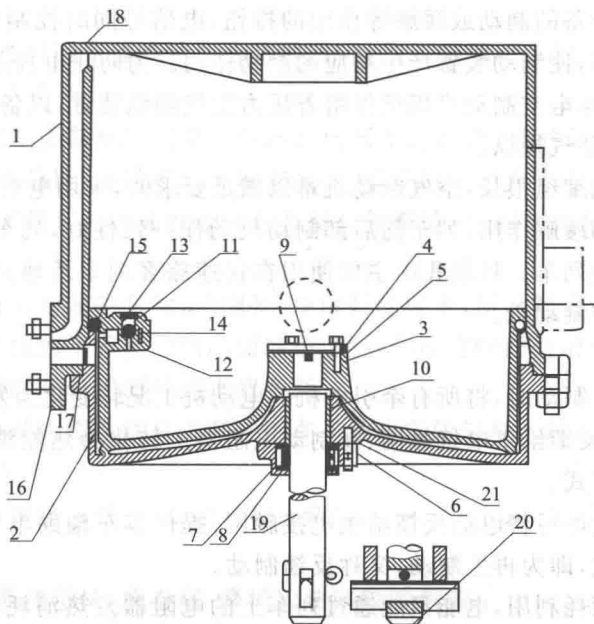


图 1.2 真空制动缸的结构

- 1—上部缸体;2—下部缸体;3—活塞;4—活塞盖;5—活塞盖垫;6—密封盒;7—衬套;8—密封圈;
9—活塞锁紧键;10—导套;11—止回阀盖;12—止回阀阀座;13—止回阀阀罩;14—黄铜球;
15—滚圈;16—缓解阀垫;17—密封垫;18—螺堵;19—活塞杆;20—扁销;21—密封盒垫

但是真空制动机,由于大气压强本身有限,绝对真空很难达到,其压力最高也只能达到一个大气压,故而制动力小,气密性要求又高。若要增大制动力只能通过扩大制动缸、列车管的直径或提高制动倍率来实现。这样,不仅增加了车辆自重,制动缸活塞的行程量将大量增加,而且列车编组也受到限制。所以,有些采用真空制动的铁路,随着牵引重量和运行速度的提高,已经逐渐向空气制动过渡。

4. 电空制动

虽然空气制动机与人工制动相比,安全性和可靠性都有了很大进步,但由于司机发出的制动指令是靠列车管内的压力变化来传递的,它的指令传递速度受空气波速的限制,也就是说其极限速度在 330 m/s 左右。因此,对一列几百米长的列车来说,仍有可能造成前后车辆制动和缓解动作在时间上的不一致,由此造成的列车纵向冲动和对车钩的损伤非常严重。

20 世纪 30 年代,欧美和日本各地出现了采用电信号来传递制动和缓解指令的电控式空气制动控制系统,由于电信号的传输速度比空气波速快得多,因此电气控制的制动系统具有制动和缓解时的纵向冲动小,制动距离短,车钩受力小,乘客乘坐舒适性好,全列车制动和缓解的一致性等优点。

电空制动机是电控空气制动的简称,是以压力空气作为原动力,利用电控系统电信号通过电磁阀来操纵的制动机。

它的特点是制动作用的控制用“电控”,但制动作用的源动力还是压力空气。列车驾驶室内有电控制动系统设备,每一辆车的空气制动装置配套有电控电磁阀箱。驾驶室司乘人

员操纵电控制动系统设备的制动或缓解等作用的按钮,电信号同时控制每一辆车电控电磁阀箱中相应的电磁阀动作,使制动装置产生相应的制动作用。为防止电控系统因故失灵,列车失去制动控制,当前的列车电空制动机仍然保留着压力空气操纵装置,以备在电控系统发生故障时,能自动地转为压力空气操纵。

在列车速度很高或编组很长,空气制动机难以满足要求时,采用电空制动最大的优点是全列车能迅速发生制动和缓解作用,列车前后部制动机动作一致性好,列车纵向冲动小,制动距离短,适用于高速、重载列车。目前我国主要使用在快速旅客列车及地铁车辆上,世界上许多高速列车都采用了电空制动机。

5. 动力制动

动力制动是在列车制动时,将所有牵引电机的电动机工况转变化为发电机工况,将列车动能转化为电能,再通过反馈给供电接触网、在制动电阻器上转化为热能消耗、通过涡流转化为热能散失出去的制动方式。

通过转换电路和受电弓将电能反馈给供电接触网,提供本车辅助电源或同一电网中相邻运行的列车使用的方式,即为再生制动,又称反馈制动。

若反馈电能无法消耗利用,电能只能通过列车上的电阻器发热消耗,采用强迫通风,转变成热能散发到大气中去,这种制动方式就是电阻制动,又称能耗制动。

通过涡流将电能转化为热能散失出去的制动方式为涡流制动。

电阻制动会造成车辆能量和车站能量的双重浪费,导致车辆运营成本提高,另外,电阻制动所带来的高温明火,也为列车运行带来了潜在的危险,因此,要尽量减少电阻制动次数,提高再生制动几率,不仅因为再生制动比电阻制动更加经济,更重要的是可以消除列车运营危险及隐患。

6. 液力制动

液力制动广泛应用于液力传动的内燃机车。它是在液力传动装置内安装液力制动器(液力耦合器),制动时向它充入液体,车轮带动它旋转时,液体和液体之间、液体和耦合器之间摩擦生热,再经由散热器消散于大气,产生制动作用。

上述制动方式中,涡流制动、电阻制动、再生制动都是通过将牵引电动机工况转换为发电机工况,进行逆工作来消耗或回收列车动能。动力制动可以更好地保证列车运行安全,提高列车运行速度和铁路通过能力,并可以减少闸瓦和车轮踏面的磨耗,大大节约因更换闸瓦和车轮而消耗的人力、物力。

经过一百多年的发展,列车的制动技术从最初的手制动、纯空气制动、真空制动、电空制动、动力制动到当前的空电复合制动,已达了一个新的水平,列车的制动技术也越来越安全、可靠、环保及人性化。

(三) 制动方式

制动方式指制动时列车动能的转移方式或制动力的获取方式,通常可依据动能的转移方式、制动力的形成方式及制动源动力进行划分。

1. 按动能转移方式

所谓动能转移方式是指将列车的动能转变为何种形式的能量,通常可分为摩擦制动和动力制动。

(1) 摩擦制动

摩擦制动通过摩擦把列车动能转变为热能,从而获得制动力,常见的有闸瓦制动、盘形制动、磁轨制动、液力制动等。

① 闸瓦制动(又称踏面制动),制动时以闸瓦抱紧车轮踏面,使轮轨间发生摩擦,列车动能绝大部分通过摩擦变成热能,并转移入车轮与闸瓦,最终逸散于大气中。

优点:简单可靠,使列车高速和低速时都有制动停车能力,制动力的大小可通过控制闸瓦压力来适当调节。

缺点:闸瓦压力过大会发生车轮被“抱死”而滑行的现象,所以制动力不能超过轮轨间最大黏着力;闸瓦摩擦系数随列车速度的增高而减小,随列车速度降低而增大,高速时制动力不够,低速时容易滑行,制动时车轮踏面受到剧烈磨损。

② 盘形制动,用制动夹钳使闸片夹紧装固在车轴或车轮辐板上的制动圆盘(铸铁盘),使闸片与制动圆盘间产生摩擦。

优点:可减少车轮踏面的磨损,摩擦系数比较稳定,有些速度较高的地铁车辆已经采用盘形制动。

缺点:构造复杂,散热不良,成本高,降低轮轨间黏着系数。

③ 轨道电磁制动(磁轨制动),制动时将电磁铁放下与钢轨相吸,靠钢轨与电磁铁之间的摩擦转移能量。

优点:制动力不受轮轨间黏着力的限制,可缩短制动距离。

缺点:钢轨磨损严重(高速旅客列车采用的一种制动方式)。

④ 液体摩擦制动(液力制动):在液力传动内燃机车装设液力耦合器,靠液体间和液体与固体间(工作液体与耦合器)摩擦,使列车动能转变成工作液体的热能,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中。

(2) 动力制动

动力制动是通过牵引电动机将列车动能转变为电能,以获得制动力的方式。常见的有再生制动、电阻制动、旋转涡流制动、轨道涡流制动等。

① 再生制动

地铁车辆上采用直—交传动技术,通过变流器可将直流电逆变成电压、频率均可调的三相交流电并加以使用,从而为地铁车辆上再生制动技术的运用提供了基础。再生制动是一种最环保、最经济的制动方式,通过再生制动可将列车由制动引起的动能变为电能,通过逆变器反馈给接触网或为本区间内其他车辆或本列车上其他电器供电。

② 电阻制动

制动时将牵引电动机变发电机,将所发电能传送给电阻器转化为热能,靠冷却风扇强迫通风使热量逸散于大气中。

为实现电阻制动,一般每个动车上都安装有制动电阻器箱,里面装有足够的制动电阻。为了尽快将电阻制动时电能电阻带上产生的热量散发出去,要求制动电阻阻值很小,电阻带之间留有很大的通风空间,另外,还要求进行强迫风冷。电阻制动由于其能量的不可回收性,导致车辆运营成本大大提高。同时,电阻制动所产生的高温明火易引起列车下部其他设备或电缆燃烧,给列车运行带来潜在的危险。因此,要尽量提高再生制动率,减少电阻制动次数,消除一切可能发生的不安全隐患因素。

③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。涡流盘有散热筋并起冷却风扇的作用,以加速涡流盘的散热。

④轨道涡流(线性涡流)制动

制动时,将悬挂在转向架上的电磁铁放下到离轨面上方 2~3 mm 处,利用它和钢轨的相对运动使钢轨表面感应涡流,从而产生阻力并使钢轨发热,变列车动能为热能。

⑤飞轮储能

制动时把列车动能转入飞轮储存,起动加速时该能量放出可节省能源。

2. 按制动力形成方式

(1)黏着制动

黏着制动是目前主要的一种制动方式,主要靠轮轨间的作用力与反作用力(黏着力)形成制动力,实现制动作用。闸瓦制动、盘形制动、液力制动、电阻制动、旋转涡流制动、再生制动以及飞轮储能制动,都属于黏着制动。

(2)非黏着制动

制动时钢轨给出的制动力并不通过黏着点作用于车辆,而由钢轨直接作用于吊挂在转向架上的电磁铁。制动力大小不受黏着力限制,是超出黏着力之外获得制动力的一种制动方式。主要用于制动力不够的高速旅客列车或城区有轨电车,是一种辅助制动装置。

3. 按制动源动力

(1)空气制动:以压缩空气为源动力,又可分为直通式空气制动和自动式空气制动。

(2)电气制动:以电为源动力,如动力制动、磁轨制动等。

(3)人力制动:以人力为源动力,如手制动机。

(四)制动模式

在克诺尔的制动系统中,制动模式包括常用制动、紧急制动、快速制动、停车(保压)制动和停放制动。各制动模式由司机指令控制,列车计算机系统根据列车载荷、减速度指令值、列车当前速度决定电制动与空气制动的分配。

根据公式 $F=m\alpha$,列车所需制动力 F 与列车质量 m 成正比;在列车质量 m 一定的条件下,列车所需制动力 F 与减速度 α 要求值成正比。制动时半列车所需制动力:

$$F=m\alpha=\alpha(m_A+m_B+m_C)=2\alpha(\frac{1}{2}m_A+m_C) \quad (1.2)$$

式中 m_A ——A 车(拖车)质量;

m_B 、 m_C ——B 车或 C 车(动车)质量。

以广州地铁一号线车辆技术参数为例,假定三节车的乘客载荷均匀分配,则各车的乘客载荷定义如表 1.2 所示。

表 1.2 列车乘客载荷定义

载荷代号	定义	载荷比 L_A	载荷代号	定义	载荷比 L_A
AW ₀	无乘客	58.6%	AW ₂	定员载荷(6 人/m ²)	88.3%
AW ₁	座客载荷	63.9%	AW ₃	超员载荷(9 人/m ²)	100%

1. 常用制动

常用制动是正常情况下为调节、控制列车速度或对标停车时所施加的制动方式,在常用制动模式下,电制动和空气(摩擦)制动都处于激活状态,但列车优先选择电制动,电制动力不足时再根据电制动力的不足量与载荷成正比地附加空气制动。

施加常用制动时,列车减速度 α 由司机控制器的主手柄位置决定,具有防滑保护和冲击限制功能,其特点是制动作用比较缓和,且制动力可调,约为列车制动能力的 20%~80%。实际上,在 AW_2 以下载荷,速度 8 km/h(可调)以上及无滑行情况下,电制动完全能满足车辆制动要求,当电制动力不能满足制动要求时,空气制动能够迅速、平滑地补充,实现混合制动的的作用。

2. 紧急制动

紧急制动是在紧急情况下为使列车尽快停车而施加的一种制动方式,制动力可达列车制动能力的 100%。它是一个“失电制动,得电缓解”的紧急空气制动系统,瞬时减速度 $\alpha_{\max} = 1.34 \text{ m/s}^2$,它由贯穿整个列车的 DC 110 V 电源线即紧急制动安全回路所控制。当紧急制动安全回路得电时,紧急制动缓解,线路一旦断开失电,所有车即实施紧急制动。为了能在紧急情况下作出快速反应,司机室内左右正副司机台上各有一个蘑菇形紧急制动按钮。拍下按钮,紧急制动安全回路断开,电源线失电,使制动控制单元中的紧急电磁阀失电,引发紧急制动。紧急制动发生时,受电弓降下,高速断路器断开。另外,在列车控制电路里,某些误操作或者意外也会造成紧急电磁阀失电,产生紧急制动。紧急制动具有如下特点:

- (1) 电制动不起作用,列车制动力全部由空气制动承担;
- (2) 高速断路器断开,受电弓降下;
- (3) 不受冲击率极限的限制,在 1.7 s 内即可达到最大制动力的 90%;
- (4) 紧急制动实施后是不能撤除的,列车必须减速,直到完全停下来(零速封锁);
- (5) 具有防滑保护和载荷修正功能。

3. 快速制动

快速制动也是紧急情况下为使列车尽快停住而施加的一种制动方式,将司机控制器主手柄打到“快速制动”位上即产生快速制动,制动力亦可达列车制动能力的 100%。

快速制动与紧急制动产生的制动力相同,但施加的方式不同,制动模式不同,快速制动是空电混合制动,而紧急制动一般为纯空气制动。此外快速制动可通过人工操作中途缓解,而紧急制动一旦发生,必须等列车速度下降到零才能进行缓解。快速制动具有如下特点:

- (1) 把列车制动能力全部用上,作用迅猛,通常为最大常用制动力的 1.4~1.5 倍;
- (2) 受冲击率极限的限制;
- (3) 主控制器手柄回“0”位,快速制动可缓解;
- (4) 具有防滑保护和载荷修正功能。

4. 保压制动

保压制动又称保持制动、停车制动,是常用制动的一项辅助功能,无需人工操作,用于车辆平稳停车、或用于列车停站时制动。当列车低速运行接近停车时,为防止车辆在停车前的冲动,由 ECU(制动计算机)内部程序按照有关外部指令信息执行的制动,防止列车溜逸。其制动力大小可保证 AW_3 载荷的列车停在最大坡度线路上也不会产生溜逸。保压制动在满足下

述 5 个条件时自动施加：

- (1)当列车施加制动后,列车速度小于 0.5 km/h(参数可进行调整与设置);
- (2)无牵引指令;
- (3)无快速制动指令;
- (4)无紧急制动指令;
- (5)按最大常用制动指令值的一定比例(各车指令值不尽相同,例如广州地铁一、二、四、五、六号线,其保持制动指令值为最大常用制动值的 70%,东莞地铁则按 45%的最大常用制动力施加保持制动)。

当保压制动指令值 $>$ 常用制动值的 70%时,ECU 仍执行常用制动指令。保压制动分两个阶段实施。

第一阶段:当列车制动到速度小于 8 km/h 时,DCU(牵引计算机)触发保压制动信号,同时输出给 ECU,这时,ECU 开始启动空气制动,同时,由 DCU 控制的电制动逐步退出,由 ECU 控制的空气制动替代电制动。

第二阶段:接近停车时(列车速度 <0.5 km/h),一个小于最大常用制动值的保压制动由 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,ECU 内部程序将在 8 km/h 的速度时自行触发。

司机控制器主手柄打到“牵引”位,经过约 2s 的延时,牵引力矩才达到要求值,而保压制动压力在 DCU 确认接受到牵引指令后开始缓解,并在牵引力矩达到要求值之前完全缓解,以保证列车安全启动。

5. 停放制动

停放制动由带弹簧制动器的制动单元来实现,其制动力来源是弹簧压力,可用于长时间停放车辆或安全停车,主要为确保 AW_3 载荷的列车在 40‰(此参数因车而异)的坡度上不会产生溜逸而设计的一种制动方式。停放制动与空气制动共用同一套制动闸瓦/闸片。如果列车较长时间断电停放,由于制动缸压缩空气泄漏得不到补充,制动缸压力逐渐下降,空气制动就会失去作用,而使用弹簧压力作为制动源可保证长时间安全停车。使用克诺尔制动系统的地铁车辆,一半的基础制动单元上装有停放制动装置。

通过操作两个司机台上的“停放制动施加”或“停放制动缓解”按钮即可施加或缓解停放制动,只有停车状态下才可使用。停放制动的施加和缓解都需经过压缩空气操作,出现故障无法气动缓解时可由人工手动缓解。

二、空气制动机组成、工作原理

此处的空气制动机是指早期不含电控的纯空气制动。空气制动机是最先使列车摆脱人力,转入机械力制动的一种制动机,它的制动源动力来自压缩空气,以改变压缩空气的压强来实现操纵控制。其制动力的形成依赖于轮轨接触关系,属于摩擦制动。我国铁路上习惯把压力空气简称为“风”,把空气制动机简称为“风闸”,以此类推,风缸、风泵、风压、风表等名称均由此而来。

传统机车车辆上空气制动系统控制装置虽然有各种结构不同的阀类,但从整个控制原理上基本可分成两类:直通式空气制动机和自动式空气制动机,即当年威斯汀豪斯所发明的两种类型的制动机。

1. 直通式空气制动机

最早出现的空气制动机是直通式空气制动机,由机车上的空气压缩机(即风泵)产生压力空气并送入机车上的总风缸储存,经总风缸流至制动阀。制动阀连接总风缸与列车管,通过操作制动阀可控制列车管的充、排气,进而控制制动缸的充、排气。制动阀的手柄有3个工作位置:缓解位、制动位及保压位。

(1) 制动状态

直通式空气制动机制动时的工作状态如图 1.3 所示。

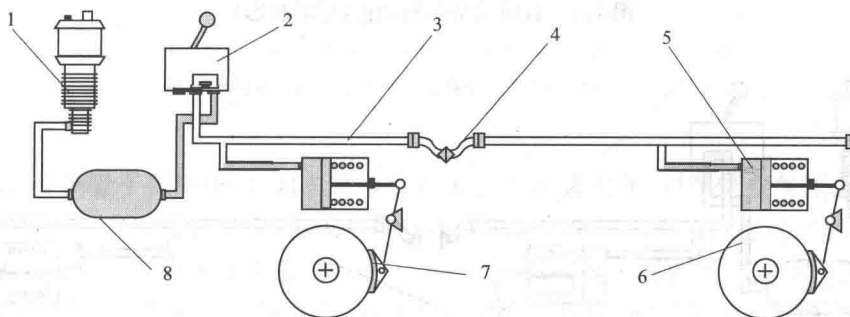


图 1.3 直通式空气制动机(制动状态)

1—空气压缩机;2—制动阀;3—列车管;4—软管;5—制动缸;6—车轮;7—闸瓦及闸瓦托;8—总风缸

当司机施行制动时,将制动阀 2 的手柄放置在制动位,总风缸 8 的压力空气经制动阀 2 进入列车管 3,列车管在每相邻的两辆车连接处以软管连接器连接。进入列车的总风可经由各辆车的制动支管直通每辆车的制动缸 5,推动缸内的活塞右移,压缩其背后的缓解弹簧,向外推出活塞杆,使装于制动杠杆下端的闸瓦托及闸瓦 7 紧压车轮,产生制动作用。

(2) 保压状态

司机将制动阀手柄置于保压位时,总风缸、列车管和大气三者之间的通路均被隔断,列车管和制动缸的空气压强可保持不变。如在制动缸升压过程中将制动阀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”。

(3) 缓解状态

当司机将制动阀手柄置于缓解位时,制动缸和列车管的压力空气均可由制动阀排往大气,其工作状态如图 1.4 所示。

此时,制动缸活塞在缓解弹簧复原力的推动下左移,使活塞杆向缸内缩回,闸瓦离开车轮,制动状态得以缓解。如在制动缸降压过程中将制动阀手柄反复地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”。

由直通式空气制动机的三种工作状态,可知列车管直接向制动缸(直通)充气,列车管充气(增压)制动缸也充气(增压),列车制动;列车管排气(减压)时,制动缸也排气(减压),列车缓解,其工作原理可简单归纳为“充气制动、排气缓解”。其优点是结构简单,并且具有阶段制动,又有阶段缓解,操纵非常灵活方便。缺点是当列车发生分离事故、制动软管被拉断时将彻底丧