

动车组系列培训教材·机械师

动车组

DONGCHEZU

制动系统

胡准庆 主 编
彭俊彬 程卫东 副主编



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

动车组系列培训教材·机械师

动车组制动系统

胡准庆 主 编
彭俊彬 程卫东 副主编

北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是动车组系列培训教材之一。全书共8章,主要介绍动车组制动系统的相关概念、组成及基本工作原理,并详细介绍了国产CRH₁型、CRH₂型、CRH₃型和CRH₅型动车组制动系统的组成、工作原理和特点,以及动车组制动系统的试验和维修。

本书可作为高等学校铁道机车车辆类、轨道交通车辆类及动车组方向的专业教材,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

动车组制动系统/胡准庆主编. —北京:北京交通大学出版社,2012.6

(动车组系列培训教材·机械师)

ISBN 978-7-5121-1028-1

I. ① 动… II. ① 胡… III. ① 动车-制动装置-技术培训-教材 IV. ① U266

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第121377号

策划编辑:贾慧娟 陈跃琴 吴桂林

责任编辑:陈跃琴 特邀编辑:范跃琼

出版发行:北京交通大学出版社 电话:010-51686414

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:185×260 印张:17.5 字数:437千字

版 次:2012年6月第1版 2012年6月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-1028-1/U·104

印 数:1~2000册 定价:35.00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。

《动车组系列培训教材·机械师》

编 委 会

顾 问	王梦恕	施仲衡		
主 任	孙守光			
副 主 任	刘志明	章梓茂		
委 员	宋永增	史红梅	陈淑玲	贾慧娟
本书主编	胡准庆			

出版说明

2005年,在铁道部的安排下,北京交通大学根据国外动车组设计资料、国内外技术交流文件,编写了动车组培训讲义,并对从事动车组运用的在职技术人员进行培训;随着中国高速动车组事业的飞速发展,到2010年,该讲义已经修订4版,先后培训了设计制造企业 and 运用部门各类人员4000多人。

为适应动车组机械师专业人才培养的需要,北京交通大学机械与电子控制工程学院、北京交通大学出版社,在铁道部有关部门的指导下,组织北京交通大学铁道部动车组理论培训基地的教师,在南车青岛四方机车车辆股份有限公司、北车长春轨道客车股份有限公司、北车唐山机车车辆股份有限公司和青岛四方庞巴迪铁路运输设备有限公司等单位领导和专家的大力支持下,编写了本套《动车组系列培训教材·机械师》。

教材编写突出理论与实用相结合的原则。本着“理论通俗易懂,实操图文并茂”的原则,系统介绍了4种高速动车组的基本原理和结构组成。

本系列教材的出版,得到中国工程院王梦恕院士的关注和首肯,以及北京交通大学学校领导、专家、教授的指导和支持,在此一并致谢。

北京交通大学机械与电子控制工程学院为该系列教材的出版,投入了大量的人力、物力和财力支持。

本系列教材从2012年1月起陆续出版,包括《动车组概论》、《动车组车体结构与车内设备》、《动车组转向架》、《动车组制动系统》、《动车组电力电子技术基础》、《动车组供电牵引系统与设备》、《动车组辅助电气系统与设备》、《动车组运行控制系统》、《动车组车内环境控制系统》、《动车组控制与管理系统》、《动车组司机室》、《动车组运用与维修》。

希望本套教材的出版对高速动车组的发展,对提高动车组的安全运行和维修、维护水平有所帮助。

教材编写委员会
2012年5月

院士推荐

中国高速铁路近年来发展迅速,按照铁路中长期发展规划,到2020年,全国铁路运营里程将由目前的9.1万 km 增加到12万 km,其中时速200~350 km 的客运专线和城际铁路将达到1.8万 km,投入运营的高速动车组将达到1 000组。

高速铁路涉及诸多高新技术领域,其中作为铁路运输主要装备的高速动车组是这些高新技术应用的综合体现,它涉及系统集成技术、新型车体技术、高速转向架技术、快速制动技术、牵引传动技术、自动控制技术、网络与信息技术等。大量新技术装备的创新和应用,极大地提高了铁路客货运输的能力和快速便捷的出行,但在实际使用中对于现有参与运营、维修、管理等各类人员提出了更高、更新的要求,以确保高速铁路运营过程的安全与可靠性。目前相对于我国高速铁路里程建设速度,对于在实际运营、管理中迫切需求的大量技术人才培养明显滞后,因此会在高速铁路的长期运营中存在严重的安全隐患,温州“7.23”事故已经给了我们一个沉痛的教训。另外,相对于高速铁路建设发展的需求,目前能够满足高速铁路运营、维修人才培养需求的优质教材也存在严重不足,尚不能满足我国高速铁路发展对各类人才培养的需要。

北京交通大学机械与电子控制工程学院作为“铁道部高速动车组理论培训基地”和北京市动车组优秀教学团队所在单位,已长期从事有关铁道车辆专业的教学与科研工作,不但学术水平高,而且教学经验丰富。从2005年开始结合我国高速动车组技术的引进、消化、吸收和创新项目及高速列车国家科技支撑项目,进行研究和实践,取得了许多成果。在参考了国内外动车组设计资料、与国内外有关设计、制造、管理局等方面进行了相关技术和学术交流,在广泛听取来自企业和运用部门提出应加快对运营单位各专业人员进行岗位培训要求的基础上,组织相关专家、教授、高级技师等进行高速动车组运营工程师、技师培训讲义的编写,在内容的适用性、安全性、可靠性与全面性方面保持与国际高速动车组技术同步,并承担由铁道部下达的各项培训任务,至今已为各单位培训高速动车组运营、维修、管理人才4 000余人,为保证我国快速发展的高速铁路事业做出了相应的贡献。

今天,这套倾注了众多专家、教授、技师及铁路部门有关领导和工程技术人员大量心血的“动车组系列培训教材·机械师”即将由北京交通大学出版社付梓面世。这套教材的出版,恰逢其时,我们有理由相信它能够为促进我国高速铁路动车组的安全可靠运营和维护提供一个良好的支撑!

祝我国的高速铁路事业进一步健康、蓬勃、快速发展。

中国工程院院士

2012年5月

前 言

铁路运输作为我国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，每年要承担数亿旅客运量，旅行高峰时期更使本来繁忙的铁路旅客运输不堪重负，运能不足的矛盾非常突出，铁路旅客运输现状已成为制约我国国民经济发展的瓶颈。

2007年4月，随着我国实施铁路第六次大提速，和谐号（China Railway Highspeed, CRH）动车组在既有线上实现了最高250 km/h的高速运营，标志着我国既有线提速达到了世界先进水平。2011年6月，京沪高速铁路正式开通运营，标志着我国铁路技术装备进入了世界先进行列，对运输能力的释放和对时空距离的拉近，对我国社会经济的发展产生了广泛而深远的影响。

中国铁路高速动车组CRH是中国铁路自主品牌的高速动车组系列。在打造中国品牌高速列车的过程中，铁路行业迫切需要大量的动车组设计、制造、运用和维修等方面的专业技术人才。然而高等院校在动车组相关人才培养方面，缺少一套系统完整的教材。为此北京交通大学作为铁道部高速动车组理论培训基地，在铁道部大力支持下，组织编写了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方面的内容。

动车组制动系统与传统列车有很大不同，新的制动方式的应用使原有的教材内容已经不能满足人才培养的要求，因此有必要对原有教材和近几年出版的动车组制动方面的书籍进行改编和内容加强，以满足铁路动车组制动技术人才的培养需求。

本教材共分8章。第1章介绍动车制动系统的概念、组成和特点；第2章介绍动车组制动系统的工作原理，重点介绍空气制动系统和制动控制系统的原理；第3章介绍CRH₂型动车组制动系统，重点介绍CRH₂型动车组空气制动系统、防滑装置和制动控制系统；第4章介绍CRH₅型动车组制动系统，重点介绍CRH₅型动车组的空气制动系统；第5章介绍CRH₁型动车组制动系统，重点介绍CRH₁型动车组空气制动系统；第6章介绍CRH₃型动车组制动系统，重点介绍CRH₃型动车组空气制动系统和制动控制系统；第7章介绍动车组制动系统的维修，重点介绍CRH₂型动车组制动系统的维修流程；第8章介绍制动系统的试验，重点介绍动车组制动静态性能试验、空气压缩机例行试验、司机制动控制器例行试验和制动控制装置例行试验。

本书由北京交通大学胡准庆主编，彭俊彬和程卫东参加了编写工作。具体编写分工如下：第1章~第3章由北京交通大学彭俊彬编写，第4章~第6章、第8章由北京交通大

学胡准庆编写，第7章由北京交通大学程卫东编写。

在本书的编写过程中，得到了北京交通大学刘志明老师和陈淑玲老师的无私帮助，在此表示衷心的感谢。

由于水平所限，时间仓促，疏漏和不足之处在所难免，恳请广大读者提出批评和建议。

编者

2012年5月

第 1 章 动车组制动系统概述	1
1.1 制动的相关概念	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 制动对动车组的意义	2
1.1.3 制动方式的分类	2
1.1.4 制动作用的种类	10
1.2 动车组制动系统的组成和特点	11
1.2.1 动车组制动系统的组成	11
1.2.2 动车组制动系统的特点	11
复习思考题	13
第 2 章 动车组制动系统的工作原理	14
2.1 电制动系统	14
2.1.1 电阻制动	14
2.1.2 再生制动	17
2.1.3 电制动的有效利用	20
2.2 空气制动系统	20
2.2.1 压缩空气供给系统	20
2.2.2 空气制动控制部分	22
2.2.3 基础制动装置	25
2.3 防滑装置	31
2.3.1 滑行和踏面擦伤	31
2.3.2 防滑装置的种类	31
2.3.3 微机控制式防滑器的结构及工作原理	32
2.4 制动控制系统	36
2.4.1 制动控制系统的组成	36

2.4.2	制动控制系统的操纵方式	38
2.4.3	制动控制系统的工作原理	39
2.4.4	速度控制	43
2.4.5	制动控制系统与动车组其他系统的接口	44
	复习思考题	44
第3章	CRH₂型动车组制动系统	46
3.1	CRH ₂ 型动车组制动系统概述	46
3.1.1	制动系统的组成	46
3.1.2	制动作用的种类	47
3.1.3	制动系统的技术特点和主要技术指标	47
3.2	CRH ₂ 型动车组电制动系统	48
3.2.1	系统组成和工作原理	48
3.2.2	性能	48
3.3	CRH ₂ 型动车组空气制动系统	49
3.3.1	压缩空气供给系统	49
3.3.2	空气制动控制部分	51
3.3.3	基础制动装置	56
3.3.4	气路原理	56
3.4	CRH ₂ 型动车组的滑行再黏着控制	58
3.4.1	再生制动的滑行再黏着控制	59
3.4.2	空气制动的滑行再黏着控制	59
3.5	CRH ₂ 型动车组制动控制系统	60
3.5.1	系统组成及功能概述	60
3.5.2	常用制动控制	61
3.5.3	非常制动控制	63
3.5.4	紧急制动控制	64
3.5.5	备用制动控制	67
3.5.6	耐雪制动控制	67
3.5.7	其他功能的控制	67
	复习思考题	68
第4章	CRH₅型动车组制动系统	69
4.1	CRH ₅ 型动车组制动系统概述	69
4.1.1	制动系统的组成	69
4.1.2	制动作用的种类	70
4.1.3	制动系统的性能	71
4.2	CRH ₅ 型动车组电制动系统	71
4.3	CRH ₅ 型动车组空气制动系统	72
4.3.1	压缩空气供给系统	72

4.3.2	直通式空气制动系统	77
4.3.3	自动空气制动系统	78
4.3.4	基础制动装置	79
4.4	CRH ₅ 型动车组防滑装置	80
4.4.1	结构	80
4.4.2	工作原理	80
4.4.3	特点	80
4.5	CRH ₅ 型动车组制动控制系统	81
4.5.1	常用制动控制	81
4.5.2	紧急制动控制	82
4.5.3	备用制动控制	82
4.5.4	停放制动控制	83
4.5.5	制动系统与列车控制系统的接口	85
4.6	空气消耗量的计算	86
4.6.1	计算条件	86
4.6.2	空气计算中采用的基本参数	86
4.7	撒砂系统	90
4.7.1	撒砂系统的布置	90
4.7.2	撒砂系统的控制原理	91
4.7.3	撒砂系统的基本参数	92
	复习思考题	92
第5章	CRH₁型动车组制动系统	93
5.1	概述	93
5.1.1	制动系统的组成	93
5.1.2	制动作用的种类	95
5.1.3	制动系统的技术特点、性能和技术规范	103
5.2	CRH ₁ 型动车组电制动系统	104
5.2.1	系统组成和工作原理	104
5.2.2	制动特性	104
5.3	CRH ₁ 型动车组空气制动系统	104
5.3.1	压缩空气供给系统	104
5.3.2	直通式电空制动系统	109
5.3.3	基础制动装置	109
5.4	CRH ₁ 型动车组防滑装置	111
5.4.1	系统组成	111
5.4.2	工作原理	111
5.5	CRH ₁ 型动车组制动控制系统	112
5.5.1	系统组成	112

5.5.2	气路原理	113
5.5.3	故障诊断	116
5.5.4	空气制动与电制动的联锁	117
	复习思考题	118
第6章	CRH₃型动车组制动系统	119
6.1	CRH ₃ 型动车组制动系统概述	119
6.1.1	制动系统的组成	119
6.1.2	制动作用的种类	121
6.1.3	制动系统的特点	131
6.1.4	制动系统的冗余	131
6.2	CRH ₃ 型动车组电制动系统	133
6.2.1	系统组成和工作原理	133
6.2.2	制动特性	133
6.3	CRH ₃ 型动车组空气制动系统	134
6.3.1	压缩空气供给系统	135
6.3.2	基础制动装置	140
6.4	CRH ₃ 型动车组防滑装置	141
6.4.1	结构	141
6.4.2	功能	141
6.4.3	防滑控制	142
6.5	CRH ₃ 型动车组制动控制系统	143
6.5.1	制动管理	143
6.5.2	制动系统的安全监控	147
6.5.3	气路原理	154
6.5.4	空气制动与电制动的联锁控制	156
6.5.5	电气原理	157
6.5.6	故障诊断及信息	158
6.6	CRH ₃ 型动车组连挂与回送	159
6.6.1	连挂方式	159
6.6.2	连挂过程	162
6.7	CRH ₃ 型动车组气动辅助设备	163
6.7.1	空气弹簧装置	163
6.7.2	风管	163
6.7.3	刮雨器装置	164
6.7.4	其他设备	166
6.8	制动距离与空气消耗量计算	166
6.8.1	制动距离计算	166
6.8.2	空气消耗量计算	168

6.9	CRH ₃ 型动车组撒砂装置	168
	复习思考题	170
第7章	动车组制动系统的维修	171
7.1	CRH ₂ 型动车组制动系统维修	171
7.1.1	专项检修作业标准	171
7.1.2	大修流程	177
7.1.3	关键部件的保养	180
7.2	CRH ₁ 型动车组制动系统维修	194
7.2.1	制动系统一、二级检修作业标准	194
7.2.2	一级检修作业程序及质量标准	194
7.2.3	二级检修作业程序及质量标准	195
7.2.4	检修限度	195
7.2.5	专项修检作业标准	196
7.2.6	应急故障处理	196
7.3	CRH ₅ 型动车组制动系统维修	199
7.3.1	检修周期	199
7.3.2	检修内容	199
	复习思考题	205
第8章	制动系统试验	206
8.1	制动试验种类	206
8.1.1	基础研究性试验	206
8.1.2	部件研制、检验试验	206
8.1.3	系统试验	206
8.2	地面室内静置试验	207
8.2.1	试验台的组成	207
8.2.2	试验台可完成的试验项目	209
8.3	CRH ₂ 型动车组制动静态性能试验	210
8.3.1	试验目的	210
8.3.2	试验编组	210
8.3.3	测定设备	210
8.3.4	测定项目	210
8.3.5	试验设定	211
8.3.6	试验准备	211
8.3.7	常用/快速制动的静态特性试验	211
8.3.8	快速制动响应速度试验	214
8.3.9	紧急制动静态特性试验	215
8.4	CRH ₁ 型动车组制动系统试验	216
8.4.1	静态试验	216

8.4.2	线路试验	219
8.5	电动空气压缩机例行试验大纲	225
8.5.1	技术规格	225
8.5.2	试验准备	226
8.5.3	磨合运转及溢漏油试验	226
8.5.4	性能试验	226
8.5.5	试验終了后	230
8.6	司机制动控制器例行试验大纲	230
8.6.1	适用范围	230
8.6.2	外观检查	230
8.6.3	机械动作试验	230
8.6.4	绝缘电阻试验	232
8.6.5	绝缘耐力试验	232
8.7	制动控制装置例行试验大纲	232
8.7.1	适用范围	232
8.7.2	实验台连接	232
8.7.3	部件实验	236
8.7.4	实验准备	236
8.7.5	外观检查	236
8.7.6	导通实验	236
8.7.7	实验顺序	236
8.8	制动管路试验	237
8.8.1	试验前的准备	237
8.8.2	制动系统管路及压缩空气设备的气密性和运转试验	238
8.8.3	紧急制动 (UB) 试验	239
8.8.4	救援转换装置试验	240
8.9	FD—1 中继阀性能试验	240
8.9.1	试验规格	240
8.9.2	性能试验	246
8.10	180—42×55 增压缸试验	247
8.10.1	试验准备	247
8.10.2	泄漏测试	249
8.10.3	增压测试	249
8.10.4	高压泄漏测试	249
8.10.5	残压测试	249
8.10.6	防滑阀动作测试	249
8.11	EPLA 电空转换阀试验	250
8.11.1	试验说明	250

8.11.2 试验要领	250
8.11.3 试验结果	252
复习思考题	260
附录 A 动车组制动系统模拟试题	261
参考文献	263

第 1 章 动车组制动系统概述

1.1 制动的相关概念

1.1.1 基本概念

人为地制止列车运动，包括使其减速、阻止其运动或加速运动，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。

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：

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

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

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情况（主要是列车速度、信号和制动技术等）制定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减速度过大)。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。

1.1.2 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, 还必须要有足够强的制动能力。

图 1-1 表示列车从甲站出发, 经启动、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; 若想在原有的减速距离内停车, 则列车运行的速度在启动阶段只能提升至 A'' 点的水平。列车的制动能量和速度的平方成正比, 时速 200 ~ 300 km 动车组的制动能量是普通列车的 4 ~ 9 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。

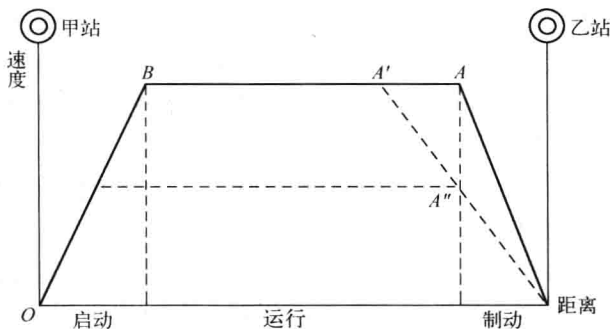


图 1-1 列车制动能力对速度的影响

1.1.3 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类

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何种其他形式的能量; 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”就是将由动能转化出的热能耗散于大气。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”;