



高等教育“十二五”规划教材

动车组常见故障 分析及处理

DONGCHEZU CHANGJIAN GUZHANG
FENXI JI CHULI

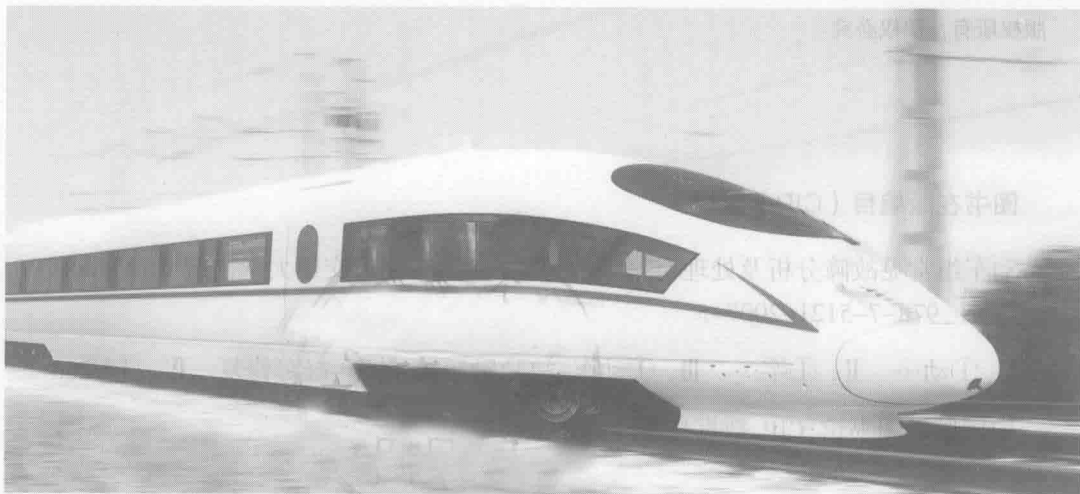
◎ 主编 宇善良 ◎ 主审 李习桥



北京交通大学出版社
<http://www.bjtup.com.cn>

· 高等教育“十二五”规划教材 ·

动车组常见故障 分析及处理



主编 宇善良

主审 李习桥

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书通过大量来自动车组运营一线的案例,分析动车组故障原因,介绍故障处理思路和方法。

全书共6章,内容包括动车组走行系统、制动系统、牵引传动系统、辅助电气系统和空调系统。在讲解过程中,先对动车组各个部分的组成及工作原理做一些简单介绍,然后侧重于动车组常见故障的分析与处理,尤其是通过一些案例反映现场处理实际问题的方式方法,以方便读者进行借鉴与学习。

本书理论与案例并重,实用性强,适于普通高等院校具有铁路特色相关专业的教学,也可供铁路工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

动车组常见故障分析及处理/宇善良主编. —北京:北京交通大学出版社,2014.8
ISBN 978-7-5121-2007-5

I. ①动… II. ①宇… III. ①动车-故障诊断 ②动车-故障修复 IV. ①U266
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第168311号

责任编辑:陈跃琴

特邀编辑:宋英杰

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:北京时代华都印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:15 字数:375千字

版 次:2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-2007-5/U·174

印 数:1~2000册 定价:38.00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

本书由大连交通大学工程学院组织编写动车运用与维护，并经过大连交通大学审定。本教材适用于普通高等院校具有铁路特色相关专业的教学，以及铁路工程技术人员参考。

中国铁路自 2007 年 4 月 18 日第六次提速调图中出现了和谐号 CRH 系列动车组开始，高速铁路动车组对旅客出行的便捷、对时空距离的缩短、对社会经济的持续高速发展，立即产生了广泛、深刻、持久的影响。为了科学管理、正确使用、及时维护这些科技含量非常高的动车组，保证它们每时每刻都能够安全、正点、快速、高效、舒适平稳地运行在万里铁路线上，必须要不断培养能够熟练掌握高速动车组日常运用维护、故障检修处理专业知识的工程技术人员和管理人员。虽然与动车组知识相关的专业教材、参考资料已经比较普及，但能够结合现场实际情况编写，适合高等院校学生学习和掌握、适合现场技术人员和管理人员使用的动车组常见故障分析及处理的教材和参考资料却较少，这正是我们编写这本书的本意。

本书共有 6 章，对动车组各个部分的组成及工作原理只做了一些简单介绍，侧重于动车组常见故障的分析与处理，尤其是通过一些案例，反映出现场处理实际问题的方式方法，以方便大家进行借鉴与学习。

本书由大连交通大学宇善良主编，沈阳铁路局李习桥主审。参加编写的有大连交通大学的高志欣（第 1 章）、蒋学良（第 2 章）、宇善良（第 3 章）、贾禹琪和吴晓萍（第 4 章）、李文（第 6 章）、夏杰（第 2 章和第 6 章部分内容），还有沈阳铁路局的谢川川（第 5 章）。沈阳铁路局动车段技术科的工程师和技术骨干们、大连动车所的工程技术人员等提供了许多宝贵的资料和真知灼见，在此一并表示真挚的感谢！

由于编写的时间比较仓促，编者的知识水平和业务能力所限，本书中难免有一些遗漏和缺陷，诚望各位专家和读者斧正。

编 者

2014 年 2 月

目 录

第 1 章 高速动车组概述	1
1.1 概述	1
1.1.1 动车组定义	1
1.1.2 动车组分类	1
1.1.3 动车组基本组成	2
1.1.4 动车组的运用特点	4
1.2 高速动车组技术特点	4
1.2.1 动车组系统集成技术	4
1.2.2 大功率电力牵引传动系统	5
1.2.3 高性能转向架技术	6
1.2.4 高速制动技术	7
1.2.5 高速车体技术	10
1.2.6 列车监控与故障诊断技术	11
1.3 动车组检修基本知识	12
1.3.1 检修思想与检修制度	12
1.3.2 检修方式	13
1.3.3 检修等级	14
1.3.4 动车组故障诊断技术	16
复习思考题 1	20
第 2 章 动车组走行系统	21
2.1 CRH ₅ 型动车组转向架结构	21
2.1.1 转向架总述	22
2.1.2 转向架主要技术参数	23
2.1.3 转向架主要部件组成及结构	23
2.2 CRH ₃ 型动车组转向架	29
2.2.1 CRH ₃ 型动车组原型转向架简介	29
2.2.2 CRH ₃ 型动车组转向架配置、分类及主要技术参数	29
2.2.3 CRH ₃ 型动车转向架结构	31
2.2.4 CRH ₃ 型拖车转向架结构、特点及设计理念	35
2.3 CRH380B 型高寒动车组转向架	36

2.3.1 总体结构概述	36
2.3.2 转向架组成	37
2.4 CRH380B 型转向架故障实例	43
2.5 CRH380B 型转向架运用及维护	47
复习思考题 2	48
第 3 章 动车组制动系统	49
3.1 CRH ₅ 型动车组制动系统的组成及工作原理	50
3.1.1 制动功能与制动性能	50
3.1.2 制动控制装置及控制原理	55
3.1.3 供风系统	63
3.1.4 制动防滑系统	65
3.1.5 基础制动装置	66
3.2 其他型动车组制动系统的组成	67
3.2.1 CRH ₁ 型动车组	67
3.2.2 CRH ₂ 型动车组	71
3.2.3 CRH ₃ 型动车组	75
3.2.4 CRH380B 型高寒动车组	79
3.3 动车组制动系统检修维护	81
3.3.1 CRH ₅ 型动车组总体检修维护计划	81
3.3.2 各种制动控制部件的检修维护	82
3.3.3 空气控制系统的检修维护	84
3.3.4 动车组日常检修作业操作过程	86
3.4 动车组制动系统故障案例分析	87
复习思考题 3	98
第 4 章 动车组牵引传动系统	99
4.1 概述	99
4.2 高压电器	100
4.2.1 高压电器概述	100
4.2.2 受电弓	100
4.2.3 高压断路器	104
4.2.4 防雷击装置	107
4.2.5 网端检测装置	107
4.2.6 高压电缆 (HV)	111
4.2.7 CRH ₅ 型动车组高压供电系统应急故障处理办法	113
4.3 牵引变压器	120
4.3.1 概述	120
4.3.2 牵引变压器特点、技术参数和结构	121

4.3.3	CRH ₅ 型动车组牵引变压器故障应急处理办法	123
4.3.4	CRH380A/AL 型动车组牵引变压器故障应急处理办法	123
4.3.5	CRH380BL 型动车组主变压器故障应急处理办法	126
4.4	牵引变流器	127
4.4.1	概述	127
4.4.2	牵引变流器的特点	127
4.4.3	牵引变流器的组成及功能	127
4.4.4	牵引变流器主要技术数据	128
4.4.5	CRH ₅ 型动车组牵引变流器故障应急处理办法	129
4.4.6	CRH380A/AL 型动车组牵引变流器故障应急处理办法	129
4.4.7	CRH380BL 型动车组牵引变流器故障应急处理办法	133
4.5	牵引电动机	135
4.5.1	牵引电动机的型号及结构	135
4.5.2	牵引电动机的特点和技术参数	136
4.5.3	CRH ₅ 型动车组牵引电动机故障应急处理办法	137
4.5.4	CRH380A/AL 型动车组牵引电动机故障应急处理办法	139
4.5.5	CRH380BL 型动车组牵引电动机故障应急处理办法	140
4.6	牵引传动系统故障案例分析	141
4.6.1	CRH ₅ 型动车组典型案例	141
4.6.2	CRH380A/AL 型动车组典型案例	144
4.6.3	CRH380BL 型动车组典型案例	145
	复习思考题 4	146
第 5 章	动车组辅助电气系统	147
5.1	CRH ₅ 型动车组辅助电气系统	147
5.1.1	蓄电池	147
5.1.2	充电机	150
5.1.3	中压和低压电气设备	158
5.1.4	辅助变流器 (CH-INV AUX)	165
5.1.5	外接电源	172
5.1.6	常见故障确认方法和典型案例	174
5.2	CRH380B 型动车组辅助电气系统	176
5.2.1	蓄电池	176
5.2.2	充电机	178
5.2.3	中压和低压电气设备	187
5.2.4	辅助变流器	189
5.2.5	外接电源	197
5.3	辅助电气系统故障案例分析	198
5.3.1	辅助变流器故障	198

5.3.2 充电机故障	199
5.3.3 空调故障查找	202
复习思考题 5	203
第 6 章 动车组空调系统	204
6.1 动车组空调系统的整体构成	204
6.1.1 CRH ₅ 型动车组空调系统的组成与作用	205
6.1.2 CRH ₁ 型动车组空调系统的组成与作用	206
6.2 动车组空调系统的主要技术参数	208
6.2.1 制冷系统	209
6.2.2 供热系统	211
6.2.3 通风系统	211
6.2.4 控制系统	213
6.3 动车组空调系统维护与检修	215
6.3.1 空调机组的正常工作状态	215
6.3.2 空调系统的检修要点	216
6.4 动车组空调系统故障案例分析	218
6.4.1 CRH ₂ 型动车组空调故障分析及处理	218
6.4.2 CRH ₅ 型动车组空调故障分析及处理	219
复习思考题 6	230
参考文献	231

第 1 章 高速动车组概述

1.1 概述

铁路是国民经济的大动脉,在运输行业的五大交通运输方式中铁路运输处于重要地位。2008 年 8 月 1 日,时速 350 km 的京津高速铁路投入运营,拉开了中国铁路高速化的序幕。截至 2012 年 12 月末,中国已经建成并投入运行的高速客运线路里程已经达到 9 356 km,预计到 2020 年将建成 1.8 万 km 的高铁网,成为名副其实的高速铁路大国。

作为高速铁路的牵引运输装置,动车组技术应运而生。2007 年 4 月 18 日,中国成功实施了第六次铁路大面积提速调图,“和谐号”动车组首次出现在中国铁路上,在既有线上实现了最高时速 250 km 的运营,这标志着中国铁路既有线提速达到了世界先进水平,铁路装备技术进入了世界先进行列。以动车组为亮点的铁路第六次大面积提速调图对运输能力的释放,对时空距离的拉近,对旅客出行的便利,以及对社会经济的发展产生了广泛而深远的影响。2010 年 12 月 3 日,在京沪高速枣庄至蚌埠间的先导段联调联试和综合试验中,中国生产的“和谐号”CRH380A 新一代高速动车组最高运行时速达到 486.1 km;2011 年 1 月 9 日,中国生产的新一代“和谐号”CRH380BL 高速动车组在京沪高铁先导段运行试验中更是创造了最高运行时速达到 487.3 km 的纪录;2014 年 1 月,南车集团青岛四方机车车辆股份有限公司制造的超速试验列车 CIT500 型的台架试验速度达到了 605 km/h,被命名为更高速度的试验列车。中国铁道高速动车组 CRH (China Railway High-speed) 是中国铁路自主品牌的系列高速动车组,其优雅的色彩、流线型的身躯、惊人的速度让人们领略了高速动车组的现代和先进。

1.1.1 动车组定义

动车组由若干带动力的车辆(动车)和不带动力的车辆(拖车)组成,在正常使用寿命周期内始终以固定编组运行、不随意更改编组。一般来说,由于需要双向运行,在动车组的两端均设有驾驶室。

1.1.2 动车组分类

1. 按动力类型划分

- ① 内燃动车组 (Diesel Multiple Unit, DMU) 由柴油机提供动力;
- ② 电力动车组 (Electric Multiple Unit, EMU) 由供电接触网提供动力。

2. 按动力配置划分

① 动力集中式：将动力集中在动车组一端或两端的车辆上，其余中间车辆不带动力（即为拖车），与常规意义上的机车牵引若干车辆的列车相似。例如 ICE1、TGV-A 等；

② 动力分散式：将动力分散到动车组的若干车辆上，中间车辆有带动力的动车，也有不带动力的拖车，也可以全部车辆均带动力。例如日本的 300 系、500 系、ICE3、AGV 等。

中国引进（或合作生产）的动车组包括 200 km/h 速度级和 300 km/h 速度级两种，均属于动力分散式电力动车组。其中 200 km/h 速度级的动车组能适应在中国铁路既有线上运营，并在中国铁路既有线指定区段及新建的客运专线上以 200 km/h 速度级正常运行。已经生产的该种速度等级动车组包括三种类型：CRH₁ 型、CRH₂ 型和 CRH₅ 型。而 300 km/h 速度级的动车组主要有 CRH₃ 型、CRH380A 型、CRH380B 型等。

1.1.3 动车组基本组成

一般动车组有动车（M 车）、拖车（T 车）、带司机室车和不带司机室车等多种形式。按照各部分具体功能来分，一般动车组由以下几大部分组成。

1. 车体

车体分带司机室和不带司机室两种，其作用是提供乘坐空间、安装各种设备、纵向连接承载。

车体是容纳乘客和设置司机驾驶室的地方，又是安装与连接其他设备和部件的基础骨架，车体通常由底架、端墙、侧墙和车顶等组成。

近代动车组车体均采用整体承载的不锈钢结构或轻金属结构，以实现在最轻的自重条件下满足强度和刚度的要求。

2. 转向架

转向架有动力转向架和非动力转向架之分，其作用是承载、导向、减振和制动，动力转向架还具有牵引功能。

转向架位于车辆的最下部，在车体与轨道之间。它牵引和引导车辆沿着轨道行驶，并承受和传递来自于车体及线路的各种载荷，同时缓和其动力作用。转向架是保证车辆运行品质和保证运行安全的关键部件。

转向架一般由构架、弹簧悬挂装置、轮对轴箱装置和基础制动装置等组成。而对于动力转向架，还装有驱动装置（包括牵引电动机和传动齿轮）。

3. 牵引传动和控制系统

牵引传动和控制系统的作用是实现电能有效传递和转换、驱动列车前进、控制列车正常运行。

动车组的牵引传动和控制系统主要是指动车电气设备，包括动车或拖车上的各种电气

设备及其控制电路。按其作用和功能又分为主传动电路系统、辅助电路系统和电子与控制电路系统三部分。主传动电路系统主要包括牵引变压器、变流装置和牵引电动机等；辅助电路系统主要包括各种通风冷却装置的控制电路；电子与控制电路系统主要包括与牵引传动系统有关的各种控制装置。

4. 制动系统

制动系统是保证列车安全运行必不可少的装置。在动车和拖车上均设置制动装置，其作用是根据运行的需要产生一定的制动力，使列车在规定的距离或时间内减速或停车。现代动车组通常以动力制动作为首选制动方式。

制动装置包括机械部分、空气管路部分和电气控制部分。

5. 车端连接装置

该装置包括各种车钩缓冲装置、铰接装置和风挡等，其作用是连接车辆成列、缓和纵向冲击、传递电力及信号。

一般车辆编组成列必须借助于连接装置即车钩，而铰接式动车组通常采用铰接装置来代替车钩。为了改善列车纵向平稳性，通常在车钩后面安装有缓冲装置，以缓和列车冲动。另外，还必须借助于简便且可靠的连接头将车辆之间的电力和空气管路很好地连通。同时为了改善列车的密封状况和空气阻力，需要采用密封且外表面平滑过渡的内外风挡。车钩缓冲连接装置有如下几种形式：

- ① 全自动车钩和缓冲器；
- ② 半自动车钩和缓冲器；
- ③ 半永久牵引杆；
- ④ 各种形式的铰接装置。

6. 受流装置

受流装置是从接触导线（接触网）或导电轨（第三轨）将电流引入动车的装置，其作用是将电流顺利导入动车。受流装置按其受流方向分有多种形式，但高速动车组通常采用受电弓受流器，属于上部受流，受电弓可根据需要进行升降。

在受流制式上，目前世界各国高速铁路既有采用直流供电（DC 1 500 V、DC 3 000 V），也有采用交流供电（ $16\frac{2}{3}$ Hz/15 kV；50 Hz/25 kV），中国客运专线全部采用单相交流 50 Hz/25 kV，其优点在于：提高牵引电网的供电质量；增加牵引供电距离，从而减少牵引变电所数量。

7. 车辆内部设备（或动车组辅助设备）

车辆内部设备也称为动车组辅助设备，其作用是确保主要设备正常工作，保证乘客乘坐安全舒适。车辆内部设备包括服务于乘客的车体内的固定附属装置（包括车电、通风、取暖、空调、座椅和拉手、旅客信息系统等）和服务于车辆运行的辅助设备（包括蓄电池、

继电器、主控制箱、空气压缩机、总风缸、辅助电源装置、通风冷却装置、各种电气开关和接触器等)。

8. 列车控制网络信息系统

列车控制网络信息系统(Train Control and Monitoring System, TCMS)的作用是对整个列车的牵引、制动和车内所有设备进行控制、监测和诊断。该系统主要由列车信息中央装置(CCU)、列车信息终端装置、列车信息显示器(含 IC 卡架)、列车总线(Wired Train Bus, WTB)、车辆总线(Multifunction Vehicle Bus, MVB)、控制总线(Controller Area Network, CAN)、网关(Gateway, GW)以及车内各种设备的监控诊断和显示装置等组成。

1.1.4 动车组的运用特点

我国动车组的配属由铁路总公司统一管理。动车组在既有线上使用,配属给担当的铁路局;动车组在客运专线上使用时,配属给担当的客运专线公司。

① CRH₂型:适用于短途与中长途运输,速度等级为 200 km/h,最高可提升为 300 km/h,主要配属于郑州、济南、上海、南昌铁路局和广铁集团公司范围内,主要用于京广线、京沪线和杭州—宁波—深圳的沿海客运专线,辐射陇海线。

② CRH₅型:适用于短途与中长途运输,速度等级为 200 km/h,最高可提升为 250 km/h,主要配属于北京、沈阳、哈尔滨铁路局范围内,用于京哈线,也可部分开行至济南和郑州、武昌方向。

③ CRH₁型:适用于短途运输,速度等级为 200~220 km/h,主要用于城际间的短途运输,配属根据使用情况确定。

④ CRH₃型:适用于短途与中长途运输,速度等级为 300 km/h,最高可提升为 350 km/h,主要配属于京沪、京广等高速客运专线。

⑤ CRH380B 型:适用于中长途运输,速度等级为 300 km/h,持续运营速度可达到 350 km/h,防寒等级较高,其中 CRH380B 配属于哈尔滨铁路局、沈阳铁路局等;CRH380BL 配属于北京铁路局、上海铁路局、济南铁路局和广州铁路(集团)公司。

1.2 高速动车组技术特点

1.2.1 动车组系统集成技术

动车组是当今世界高新技术的集成,采用了机械、材料、电子、计算机、网络通信、工程仿真等领域的最新技术,应用了高速轮轨关系、大功率牵引、制动控制、列车运行控制、空气动力学工程、可靠性与安全技术等铁路专业领域的最新科技成果,是高速铁路的标志性装备。

1.2.2 大功率电力牵引传动系统

电力牵引高速列车的供电、牵引传动系统,包括从变电站到列车受电弓在内的供电部分和动车组本身的传动系统。本教材所指为列车装备部分,即从受电弓、主变压器到牵引电动机的主电路部分,即牵引传动系统。虽然受电弓一般列属牵引供电系统,由于其为车载设备,因此涉及受电弓的运用保养的内容也列于本教材中。

目前根据系统的传动方式和动力分布形式等的差异,动车组牵引传动系统的组成有所不同,早期的电力牵引传动系统均采用交-直传动,用直流电动机驱动。由于直流电动机的单位功率重量较大,使高速列车既要大功率驱动又要减轻轴重的矛盾难以克服。因此,目前动车组均采用交-直-交传动系统。

交-直传动系统是指动车组采用交流供电而采用直流电动机驱动动车组运行的传动系统。为了能够用电网提供的交流电驱动直流电动机工作,系统中采用变流器,将交流电转换成直流电,并通过对变流器的控制来调整直流电动机的工作速度。

列车受电弓从接触网上取得的是一定频率和恒定电压的电源,而牵引电动机在所要求的转速、转矩范围内工作,需要的是电压和频率均可以调节和变化的三相交流电。因此必须设计一组变流装置。交-交变流器是把电网的交流能量直接转化为电压和频率均适合交流电动机调节的能量;而交-直-交变流器,是先把电网的交流能量转化为直流能量,然后再进一步转换成电压和频率可调节的交流能量。

1. 牵引电动机

牵引电动机是实现电能与机械能转换的最核心部件,牵引时作为电动机运行,将电能转化成机械能,制动时作为发电机运行,将机械能转换为电能。近代高速列车大都采用三相交流异步电动机,与直流电动机相比,它具有额定输出功率大、结构简单、体积小、质量轻、易维修、运行可靠、效率高和具有适合的工作特性等优势。

2. 牵引逆变器

牵引逆变器是牵引传动系统的电动机驱动侧变流器,列车牵引时作为逆变器,再生制动时作为整流器,可以实现牵引与再生工况快速平滑转换。列车牵引时,将中间直流环节的电流电压转换成电压电流频率按照牵引特性要求的三相交流电,并保证三相电压对称、电流随时间变化尽量接近正弦波,减少谐波及电压不对称对牵引电动机的影响;列车制动时,牵引电动机工作在发电状态,将牵引电动机输出的电压、频率变化的三相交流电变换成直流电,输出给中间直流环节。逆变器-牵引电动机的驱动控制技术,是牵引传动系统的核心技术。

作为其核心部件,电力电子器件直接决定了牵引逆变器的性能指标。目前所采用的新型大功率半导体器件,从最早的以SCR为代表的传统半控型电力电子器件时代发展至如今的以IGBT为代表的全控型自关断现代电力电子器件时代。经历了SCR、GTO、IGBT/IPM、IGCI,为解决牵引逆变器冷却效率高、体积小、节能环保及低噪声提供了保障。

3. 牵引变压器

牵引变压器又称主变压器。受电弓将接触网的 AC 25 kV 单相工频交流电输送给牵引变压器,经变压器降压后的单相交流电供给脉冲整流器,脉冲整流器将单相交流电变成直流电经中间直流电路将直流电输出给牵引逆变器,牵引逆变器输出电压、电流、频率可控的三相交流电给三相异步电动机,牵引电动机轴端输出的转矩与转速通过齿轮传动传递给轮对,转换成轮缘牵引力和线速度。

牵引变压器在牵引传动系统中是质量、体积最大,耗损最多的部件,特别是在动力分散式高速列车中由于要求起动加速功率和制动再生功率大,而安装空间又有限,所以牵引变压器损耗占到总损耗的 30%,因此减轻质量、减小体积、降低损耗,一直是牵引变压器发展的目标。近代随着电子技术的发展和高温超导材料性能的提高,出现了两种新型变压器,即电子变压器和高温超导变压器,具有质量轻、体积小、效率高等优点。

4. 牵引传动控制

高速动车组牵引传动控制的水平取决于所采取的策略和手段。牵引传动控制策略由最初的转差特性控制发展到矢量变换控制,近年来又实现了电动机转矩控制的新技术:直接转矩控制(DTC)和直接自控制(DSC)。这项新技术具有控制简单、性能优良的特点。近代牵引传动控制手段普遍采用数字电路和大规模、超大规模集成电路,以及微处理器、微控制器和数字信号处理器等组成的微机控制系统。

牵引传动系统是高压系统,为保证系统安全可靠,系统的保护十分必要。为此,牵引传动系统应对各种故障具有检测和保护功能;为了有效利用黏着力,牵引变流器设有牵引时检测空转实施再黏着控制的功能,在控制制动装置设有制动时检测滑行并进行再黏着控制的功能;为了在故障和并联电动机载荷分配不均匀等情况时保护牵引电动机,设有电动机过流检测、电动机电流不平衡检测、接地检测等保护功能。

1.2.3 高性能转向架技术

随着列车速度的提高,列车所需的牵引力急剧增长,轮轨之间的作用力也随之增大,轮轨黏着快速降低,需要制动功率相应增加。因此提高列车运行速度首先遇到的问题是转向架运行的稳定性和安全性,提高列车运行速度应具有高性能的转向架。新型转向架具有足够的强度和刚度,较高的运行稳定性和平稳性,良好的曲线通过性能,尽可能地减少轮轨作用力,最大限度地发挥轮轨黏着潜能,结构简单、可靠性高、满足旅客乘坐的舒适性。为此,高速列车需要解决的关键技术包括以下 4 种。

1. 转向架轻量化技术

转向架质量分为簧下质量和簧间质量,它们是影响转向架动力学性能的重要参数。簧下质量影响轮轨间作用力,因此应尽量降低簧下质量。为此高速列车转向架采用整体碾钢小直径车轮、空心车轴、轻金属轴箱体、轻量化轴箱轴承和牵引电动机架悬或体悬的悬挂

方式,以降低簧下质量。簧间质量和回转转动惯量影响列车横向稳定性、运行平稳性和轮轨间横向力,为此,在结构上常常采用“H”形构架,并把设备尽量集中在转向架中心附近。对于非动力转向架,基本上都采用无端梁、无摇动台、无摇枕结构,通过结构的简化实现簧下质量和簧间质量的降低。

2. 转向架悬挂技术

高速动车组运行时,运动稳定性和运行平稳性是动力学的主要问题。采用了两系悬挂,设于构架与轴箱间的一系悬挂通常较硬,同时并联有垂向液压减振器;设于构架与车体间的二系悬挂通常采用圆弹簧或空气弹簧和液压减振器配合。转向架设计过程中一系悬挂的横向和纵向刚度是否匹配,直接影响转向架运行的稳定性、曲线通过能力和轮轨横向作用力;二系特性较软,可以将构架的振动与车体有效地隔离开来,保证运行的平稳性。

3. 转向架驱动技术

高速动车组转向架驱动系统通常包括牵引电动机、齿轮传动机构、联轴器等。驱动系统必须满足功率大、转速高、质量轻和体积小等要求,因此采用交流传动技术。三相交流电动机对改善高速动车组转向架的动力学性能起到了关键性的作用。此外交流传动技术和黏着控制技术相结合,有力地提高了黏着利用率。转向架驱动系统的结构主要有两种:弹性空心轴和驱动联轴节驱动。驱动电动机的转矩要通过空心轴或联轴节传递给高速齿轮,再通过高速齿轮箱传给轮对,因此还要根据其工作环境和负载强度,解决好高速齿轮箱的减重、高速重载啮合、轴承润滑及齿轮箱的密封问题。

4. 牵引电动机悬挂技术

近代高速列车均将牵引电动机悬挂在车体上或构架上。电动机的悬挂方式对转向架的动力特性影响十分显著。研究表明:电动机悬挂在车体上,与悬挂在构架上相比,转向架临界速度可明显提高,轮轨横向力大幅度降低,横向平稳性显著提高。动力集中式高速列车转向架的电动机悬挂基本采用体悬或半体悬,以充分降低簧下质量和簧间质量,例如法国TGV高速列车转向架为体悬结构,德国ICE1高速列车转向架为半体悬结构。动力分散式高速列车转向架的电动机悬挂基本采用架悬方式,结构简单,虽然会牺牲一些动力学性能,但由于牵引电动机质量较轻,基本能满足高速运行的动力学性能的要求,例如日本新干线的高速列车转向架基本采用架悬方式。

1.2.4 高速制动技术

高速列车的制动系统是实现列车高速、安全运行的保障。列车高速运行时具有相当大的运动能量,而高速列车的制动技术必须解决列车动能的快速转换和能量消耗的问题,并在轮轨黏着允许的条件下,做到高速列车的可靠停车或降速。另外,由于轮轨黏着系数随运行速度的提高而下降,因此更增加了高速制动技术的难度。目前高速列车制动的关键技术主要有以下6种。

1. 复合制动

由于高速列车所需的制动能量巨大,靠单一的制动方式难以满足要求,因此高速列车需要采用多种制动方式组合的复合制动方式,并配以电子防滑装置,用以提高轮轨黏着利用。在动力转向架上应尽可能采用动力制动(再生制动和电阻制动),再配合以摩擦制动(盘形制动);而在非动力转向架上,在盘形制动以外再辅以非黏着制动(涡流轨道制动和磁轨制动)。例如日本的 300X、德国的 ICE3 和法国的 AGV 等动力分散式高速列车的非动力转向架上,采用了涡流轨道制动来提高制动力。

2. 制动控制

高速列车制动系统是一个整体,动力制动、空气制动、非黏着制动等必须协调一致地工作,这就是制动控制系统的任务。制动控制一般都采用电气指令直通式电空制动控制系统,以微处理器为中心,优先使用动力制动,当动力制动不足时,由制动控制单元发布电气指令,通过 EP 电空单元使制动缸动作,产生空气制动,补充动力制动的不足。满足“故障-安全”原则,并与中央诊断系统相连接。

高速列车制动系统空走时间是非常重要的,制动空走时间每延长 1 s,制动距离将增加 50~100 m。电气指令式电空制动与其他控制方式相比,高速时的空走时间最短,这是由于其制动和缓解信号均为电信号,因此反应灵敏、动作迅速,满足高速列车缩短制动距离的要求。

3. 盘形制动

按照国际铁路联盟 UIC 的规定,高速列车行驶时,应能在摩擦制动的单一作用下,在规定的制动距离内停车,其目的是在动力制动系统发生故障时也能保证列车运行安全。所以摩擦制动仍然被视为高速列车的主要制动方式。但传统的闸瓦制动由于其在高速时对车轮踏面的热损害愈发严重,而且制动力不足,因此逐渐被盘形制动所取代,即使仍有闸瓦装置,也只是作为盘形制动的补充,主要是为了清扫踏面,改善黏着。

盘形制动的制动盘和闸片在高速列车上承受着极为严苛的工作条件。一方面要求提高强度和耐磨性,减少裂纹的发生;另一方面又要简化结构、减轻质量。制动盘的材质经历了特种铸铁、铸钢、锻钢等发展到碳纤维和铝合金复合材料。其结构向通风式、利于散热和冷却的方向发展。闸片材质是以粉末冶金代替合成材料,以改善盘形制动的受热状况。非动力转向架的车轴上可以安装多达 4 个制动盘,以降低闸片压力,从而延长制动盘和闸片的使用寿命。动力转向架一般轴重较大,制动盘的安装数量受到限制,因而工作条件更加恶劣。

4. 动力制动

动力制动包括电阻制动和再生制动。电阻制动是将列车动能转换成热量散失掉,优点是可以在任何转矩下利用蓄电池实现励磁,即使在断电情况下也能实现制动,缺点是在高

速时制动力急剧下降,因而电阻制动主要用于坡道地段限制速度和停车用。近代 UIC 已明确规定了安全制动距离,即在受流失效的情况下安全制动距离应与正常紧急制动距离保持一致。对于最高运行速度 300 km/h 的高速列车,如德国的 ICE3 和法国的 TGV-2N 和日本的 500 系等,在受流失效时都是采用纯盘形制动作为安全制动的唯一手段。但是对于更高运行速度(如 350 km/h)的列车,由于制动盘的制动功率已经超出了其极限范围,无法满足安全制动距离的要求,为此利用电阻制动在断电时也能制动的优点,近代的动力分散式高速列车上采用电阻制动作为安全制动新方式,例如在德国的 ICE350 和西班牙 Talgo350 和法国的 AGV 高速列车上均采用了这种安全制动方式。

高速列车采用三相交流电动机,为再生制动创造了条件。再生制动可在全部速度范围内保持大的制动力,并可以制停,这对高速列车的制动具有重大意义。再生制动还可以将部分制动能转换成电能返回电网,有利于节能。因此现代高速列车的制动均以再生制动为主。

5. 非黏着制动

非黏着制动主要指电磁轨道制动和涡流轨道制动。电磁轨道制动是将制动电磁铁励磁,使其吸附于钢轨上,由电磁铁的摩擦块与钢轨摩擦产生制动力。磁轨制动的优点是:消耗功率小,由蓄电池即可励磁;对钢轨表面有清扫作用,利于提高黏着系数。其缺点是:磨损大,会引起钢轨表面局部过热磨损,严重时会导致钢轨表面擦伤,因此这种制动仅被用于紧急或安全制动。

涡流轨道制动也是利用电磁感应效应来产生制动力,但不同的是:磁通不与钢轨接触,始终保持 7~10 mm 的距离。制动时,利用磁场交变在钢轨内产生感应涡流,从而产生涡流制动力。其优点是:可以无磨损地应用于紧急制动和常规制动,无须维修;它的制动力是可控的,在高速范围内具有很好的制动性能。因此涡流轨道制动应用于高速列车具有很好的发展前景。其缺点是:所需制动功率较大,制动时会产生钢轨局部高温的现象。

6. 防止高速制动时车轮滑行

列车高速运行时轮轨间的黏着系数急剧下降,特别是在轨面潮湿、有树叶等情况下,黏着系数更低。要想缩短制动距离,又不产生车轮打滑,必须采取的措施主要有三种:一是按照列车运行的速度控制制动力的大小,以充分利用黏着。例如日本的新干线 0 系高速列车按照列车速度分级来控制制动力,使之与黏着系数变化曲线相接近。在采用动力制动时,也按黏着系数的变化曲线施加动力制动。二是采用高性能的防滑装置。近代几乎所有的高速列车都采用微机控制的高性能防滑装置来提高可利用的制动黏着系数。一般来说,采用电子防滑装置可使黏着系数提高 20% 左右。三是采取增黏措施。日本高速列车应用踏面增黏闸瓦(即踏面清扫装置)和在轮轨间喷射陶瓷粒子等的方法来增加黏着,取得了一定的成效。