

动车组系列培训教材·机械师

动车组

DONGCHEZU

车体结构与车内设备

吴作伟 丁莉芬 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

动车组车体结构与 车内设备

吴作伟 丁莉芬 主编

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书针对我国主型高速铁路动车组,介绍了CRH₁、CRH₂、CRH₃及CRH₅高铁动车组的相关内容,主要包括:动车组的设计要求与组成特点,各种动车组的主要技术参数与指标,动车组的车内结构,动车组车内设备、外部设备及平面布置,动车组端部连接装置与作用原理。

本书作为动车组车体结构及设备的专业用书,可用于技术培训及本科教学。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

动车组车体结构与车内设备 / 吴作伟, 丁莉芬主编. — 北京: 北京交通大学出版社, 2012.5

(动车组系列培训教材·机械师)

ISBN 978-7-5121-1014-4

I. ① 动… II. ① 吴… ② 丁… III. ① 动车-车体结构-技术培训-教材 ② 动车-设备-技术培训-教材 IV. ① U266

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第109812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: 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: 北京市德美印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印张: 17.5 字数: 436千字

版 次: 2012年6月第1版 2012年6月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-1014-4/U·100

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 员

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	吴作伟	丁莉芬		

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和运用部门各类人员4 000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、北车唐山轨道客车有限责任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5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。

动车组系列培训教材编写委员会

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200~350km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1000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4000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

近年来，中国高速铁路作为国家的新兴战略性产业，在国家的大力投入和扶持下得到了快速发展。在国家的科学技术进步、产业结构优化、经济发展方式转变等方面发挥了重要作用。我国的高速铁路技术，通过引进消化吸收再创新，成功搭建了世界最先进的高速铁路动车组技术平台，走出了具有中国特色的铁路技术装备现代化之路。

本书编写的主要内容来源于铁道部组织编写的动车组培训系列教材，经历六年之久，分别面向铁道部各层次高铁运用技术人员的教学培训，并取得了较好的效果。

本书作者全部为北京交通大学任教教师。吴作伟任第一主编，负责第1章～第3章编写；丁莉芬任第二主编，负责第6章～第7章编写；张新华负责第4章～第5章编写；张秀丽负责第8章编写。全书统稿工作由吴作伟、丁莉芬完成。

在本书的编写过程中，得到了铁道部装备部领导、中国南车四方机车车辆股份有限公司、中国北车长春轨道客车股份有限公司等单位的大力帮助，在此表示衷心的感谢。

本书的内容由于在资料收集和消化吸收等方面涉及面较大，难度较高，因而难免有不足之处，甚或存在不妥，敬请各位读者批评指正。

编者

2012年5月

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 动车组的组成及特点	1
1.2.1 动车组的基本概念	1
1.2.2 我国动车组的组成特点及差异	2
1.3 动车组车体及车内主要设备的特点与差异	2
1.4 动车组车体结构的主要验收标准	3
1.4.1 限界标准	3
1.4.2 车体结构强度设计标准	3
1.4.3 相关的计算说明书和试验报告	3
1.4.4 检查与验收	3
思考题	4
第2章 动车组车体结构	5
2.1 车体结构设计的基本要求	5
2.1.1 车体结构的构造原则	5
2.1.2 车体结构的具体要求	6
2.2 CRH ₁ 型动车组车体结构	6
2.2.1 车体结构组成	7
2.2.2 车体断面组成	8
2.2.3 车体结构部件组成	8
2.2.4 车下设备仓组成	11
2.2.5 头车前部结构与外形	13
2.2.6 车体的结构强度分析与气密性要求	16
2.3 CRH ₂ 型动车组车体结构	17

4.1.1	欧洲密接式车钩的组成与作用原理	109
4.1.2	日本密接式车钩的组成与作用原理	112
4.2	缓冲器装置的组成与作用原理	113
4.2.1	橡胶缓冲器	113
4.2.2	气-液缓冲器	115
4.2.3	液压缓冲器	117
4.2.4	弹性胶泥缓冲器	117
4.3	动车组车辆连接风挡主要结构形式与性能特点	119
4.3.1	滑动式风挡	119
4.3.2	双包折棚风挡	119
4.3.3	全波纹气密式风挡	120
	思考题	121
第5章	动车组连接装置	122
5.1	CRH ₁ 型动车组连接装置	122
5.1.1	车钩装置	122
5.1.2	缓冲装置	126
5.1.3	风挡装置	127
5.1.4	电气连接	129
5.1.5	风管连接	133
5.1.6	救援作业与维修	135
5.2	CRH ₂ 型动车组连接装置	139
5.2.1	车钩装置	139
5.2.2	双向 W 型橡胶缓冲器	145
5.2.3	风挡装置	147
5.2.4	电气连接	148
5.2.5	动车组救援与维修	150
5.3	CRH ₅ 型动车组连接装置	152
5.3.1	车钩装置	152
5.3.2	缓冲器	157
5.3.3	风挡装置	158
5.3.4	电气连接	160
5.3.5	风管连接	161
5.3.6	动车组重联与回送	161
5.3.7	车钩与缓冲器型式试验	162
5.4	CRH ₃ 型动车组连接装置	165
5.4.1	车钩装置	166
5.4.2	缓冲器	172

5.4.3 风挡装置	173
5.4.4 电气连接	176
5.4.5 风管连接	179
思考题	180
第6章 动车组车上布置及外部设备	181
6.1 CRH ₁ 型动车组车上布置及外部设备	181
6.1.1 平面布置	181
6.1.2 外部设备	188
6.2 CRH ₂ 型动车组车上布置及外部设备	191
6.2.1 概述	191
6.2.2 平面布置	193
6.2.3 车内设备	194
6.2.4 外部设备	196
6.2.5 参照附图	200
6.3 CRH ₃ 型动车组车上布置及外部设备	206
6.3.1 EC01 头车总体布置	206
6.3.2 IC02/IC07 中间车	207
6.3.3 TC03/TC06 中间车	207
6.3.4 BC04 车	208
6.3.5 FC05 一等车	208
思考题	209
第7章 动车组车内主要设备	210
7.1 CRH ₁ 型动车组车内主要设备	210
7.1.1 动车组车门结构与工作原理	210
7.1.2 车窗	224
7.1.3 动车组座椅种类与结构	226
7.2 CRH ₃ 型动车组车内主要设备	227
7.2.1 动车组车门结构与工作原理	227
7.2.2 车窗	234
思考题	235
第8章 供排水与卫生系统	236
8.1 集便系统	236
8.1.1 重力式集便器	236
8.1.2 真空式集便器	236
8.2 CRH ₁ 型动车组供排水与卫生系统	238

8.2.1	系统介绍	238
8.2.2	供水系统	239
8.2.3	排污系统	241
8.3	CRH ₂ 型动车组供排水与排污系统	246
8.3.1	系统介绍	246
8.3.2	供水系统	248
8.3.3	排水系统	251
8.3.4	排污系统	252
8.4	CRH ₃ 型动车组供排水与卫生系统	256
8.4.1	系统介绍	256
8.4.2	供水系统	256
8.4.3	排污系统	258
8.5	CRH ₅ 型动车组供排水与卫生系统	260
8.5.1	系统介绍	260
8.5.2	供水系统	260
8.5.3	排污系统	262
思考题		263
参考文献		264

第 1 章 绪 论

1.1 概述

自 1964 年日本建成并正式投入商业运营的世界第一条高速铁路之后,法国、德国、西班牙、意大利、瑞典等世界上的发达国家也先后实现了铁路运输的高速化。高速铁路系统的建设,不仅是社会经济发展到一定时期的产物,也是一个国家科学技术发展水平及综合国力的象征之一。

我国高速铁路的基本定位在时速 200 km,符合对高速铁路定义的国际惯例。名称定义采用高速动车组,简称动车组。我国高速动车组在“全面引进技术,联合设计生产,打造中国品牌”的原则主导下,铁道部通过招标采购方式,采用引进国外先进、成熟、经济、适用、可靠的高速列车设计、制造技术,实现了我国铁路客运的高速化。我国的高速铁路通过引进、消化、吸收及自主创新的方式,实现了我国铁路动车组设计、制造业的现代化,先后制造了 CRH₁、CRH₂、CRH₃ 及 CRH₅ 共计四种速度等级在 200 ~ 350 km/h 的高速动车组,提高了我国铁路行业的总体水平和综合实力。

动车组车体结构是动车组的主体,动车组车体结构设计主要涉及三个方面的问题:① 车辆外形的空气动力学性能,② 车体结构的轻量化问题,③ 车体结构的密封方式及性能。这些问题将对提高车辆运行速度、降低牵引能耗、减少对铁路线路的损伤,以及提高旅客乘坐舒适度等诸多方面产生不可忽视的影响。

为了使铁路系统从事动车组项目制造、运用和维修的工程技术人员能够基本了解我国动车组车体结构的基本技术情况,本教材在消化各动车组制造厂家相关技术资料及有关技术文件、图纸的基础上编写而成。主要涉及动车组车体结构及车内设备的相关内容。

1.2 动车组的组成及特点

1.2.1 动车组的基本概念

我国的动车组是指具有 200 km/h 速度级以上,实行动车、拖车混合编组的动力分散交流传动电动车组。目前的动车组可以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客运专线上以 200 km/h 速度级以上正常运行。动车组的车种组成包括:座车、餐车、卧车、座车与餐车合造车及带有司机室的头部合造车。

动车组的基本组成单位称为动力单元。每个动力单元由不同数量的动车及拖车组成。

整列车可根据需要由若干个动力单元组成。列车可以通过司机室前端的全动车钩实现列车的联挂组成。因此,动车组具有很好的灵活性和适用性,既可以通过对动拖车比例的调整以适应不同速度等级的运行需要,也可以通过对编组的调整来满足不同运量的需求。

1.2.2 我国动车组的组成特点及差异

我国时速为 200 km 速度级以上的 CRH₁、CRH₂、CRH₃、CRH₅ 高速列车动车组分别由四个厂家制造生产。虽然在总体技术条件方面基本一致,但由于从各国引进技术的不同及原型车方面所存在的差异,我国的不同动车组在动力和技术配置等方面仍然存在着一定的差异。

高速铁路动车组的引进,能够使我国在高速铁路的制造技术和运用水平等诸方面缩小与世界发达国家的差距。这种多元化的引进模式,在有利于我们更加全面地了解各国高速铁路的先进技术的同时,也会给我们在诸多方面带来诸多的问题。除了动车组在总体技术参数方面的差异外,由于不同动车组在引进原生产厂家技术方面的不同及在一些重要核心及关键技术方面对我国的封锁和限制,无论今后在消化吸收及国产化设计、国内相关技术标准的制定和统一,以及运用管理模式的协调等诸方面,我们都将会遭遇更多的挑战。

1.3 动车组车体及车内主要设备的特点与差异

三种动车组不仅在总体技术条件及相关技术参数配置等方面存在着较大的差异,在车体尺寸、车体结构、车内主要设备配置及不同车辆的平面布置等方面也不尽相同。三种动车组车体和车内主要设备技术参数比较见表 1-1。

表 1-1 三种动车组车体和车内主要设备技术参数比较

动车组	CRH ₁	CRH ₂	CRH ₃	CRH ₅
车种	一等车、二等车、酒吧座车合造车			
全列定员	670	610	557	622
客室坐席布置	一等车 2+2、二等车 2+3			
头车长度/mm	26 950	25 700	25 860	27 600
中间车长度/mm	26 600	25 000	24 825	25 000
车辆高度/mm	4 040	3 700		4 270
车辆宽度/mm	3 328	3 380	3 257	3 200
车顶距轨面高度/mm	约 4 000			
地板面距轨面高度/mm	约 1 250			
风挡	密封式折叠风挡			
车窗	独立式车窗			
座椅	二等车靠背固定式座椅	旋转式、靠背可调座椅		靠背可调式座椅
卫生系统	真空坐式、蹲式便器	非真空坐便器和小便器	—	真空坐式、蹲式便器

续表

动车组	CRH ₁	CRH ₂	CRH ₃	CRH ₅
车体结构	不锈钢车体	大型中空型材铝合金车体		
气密性	无	车内压力从 4 kPa 降到 1 kPa 时间大于 40 ~ 50 s		
侧门	电动对开拉门	电控气动液压 压紧拉门	—	电动塞拉门

1.4 动车组车体结构的主要验收标准

车体结构是动车组的主要承载体。为保证旅客运输的安全可靠性,新造车辆根据现行有关国内外铁路标准,对理论分析及试验内容等方面进行验收是十分必要的。主要验收内容如下。

1.4.1 限界标准

动车组车体结构的限界须符合《标准轮距铁路机车车辆限界》(GB 146.1)的电力机车限界及动车组《客运专线机车车辆限界暂行规定》的限界。

1.4.2 车体结构强度设计标准

动车组车体结构的强度应满足欧洲、日本等 200 km/h 及以上速度级铁道车辆强度设计标准中的各项规定。

1.4.3 相关的计算说明书和试验报告

1. 计算说明书

与车体结构相关的计算说明书是对动车组车辆设计的理论检验,其内容至少应包括:

- ① 限界校核计算;
- ② 车体强度计算;
- ③ 车体、转向架及其组合的重心计算。

2. 试验报告

与车体结构相关的试验是对动车组车辆设计水平和制造质量的综合检验,有关车体结构、车内装饰及密封性能等方面的试验报告至少应包括:

- ① 车体的静强度试验报告;
- ② 车内材料的防火及阻燃性能报告;
- ③ 车体隔热性能报告;
- ④ 动车组空气动力学的性能报告。

1.4.4 检查与验收

动车组车体结构及车内结构相关的具体检查、验收内容及有关标准应在投标文件中列

明并规定。

1. 型式试验

型式试验由采购方认可的机构负责进行,并须有采购方代表参加。型式试验内容至少应包括:

- ① 通过限界试验;
- ② 通过曲线试验;
- ③ 车体强度、刚度试验;
- ④ 车体隔热 K 值的试验;
- ⑤ 噪声试验;
- ⑥ 列车空气动力学性能试验。

2. 试验大纲

动车组与线路运行相关的型式试验应在规定线路上运行 5 000 km 以后进行。在检查与验收之前,制造商应提前提交有关的试验大纲,包括型式试验、例行试验及各项常规试验的程序,以保证采购方有足够的时间批复并派人参加试验。试验大纲的应包括以下内容:

- ① 试验方法;
- ② 试验条件;
- ③ 试验地点;
- ④ 试验仪器(与检验合格证一起提供);
- ⑤ 鉴定方法和标准;
- ⑥ 试验数据处理方法及试验结果的描述;
- ⑦ 试验报告格式。

思考题

1. 简述铁路动车组的基本定义。
2. 何谓动车组基本动力单元?
3. 简述动车组车体结构的主要型式试验。

第 2 章 动车组车体结构

2.1 车体结构设计的基本要求

2.1.1 车体结构的构造原则

为了满足高速列车的运用要求,动车组的设计不同于我国现行通常的客车设计。动车组的设计应该在满足铁路限界的条件下,具有良好的空气动力学性能、轻量化的车体结构、很好的密封性能及安全可靠的使用寿命。我国时速为 200 km 速度级的动车组,以引进国外原型车为基础,在车体结构的构造原则上体现出如下几个方面。

1. 车体的轻量化设计

车体结构既能满足结构轻量化的要求又能保证结构强度要求,以及高寿命的安全度和可靠性要求。设计寿命达 20 年以上。车体结构轻量化主要是通过选用轻型结构材料及合理的设计得以实现。

2. 完好的空气动力学外形

动车组具有完好的空气动力学外形和良好的空气动力学性能。列车良好空气动力学性能的实现主要通过车体外形的特殊设计实现,具体表现在:

- ① 头尾部呈细长流线形状;
- ② 列车下部均设有导流罩,且能够方便开启,便于检修;
- ③ 列车纵断面采用平滑过渡方式,形状不一致时应加过渡区段;
- ④ 列车的外表面光滑平整,无明显的突出和凹陷;
- ⑤ 列车的受电弓外形具有良好的空气动力学性能。

3. 严格的车辆密封要求

车辆的密封质量对列车的空气动力学性能及对车内环境控制的影响很大。车辆整车落成后的密封性能应达到下列指标:

- ① 车辆各部不得有渗漏水现象;
- ② 在关闭门窗及空调设备对外开口的情况下,车内外压力差由 4 000 Pa 降至 1 000 Pa 的时间大于 50 s;
- ③ 在车辆间的连接方式上采用气密式风挡,车辆间的各种连接应设有防雨措施及解编时的保护措施。

此外,车辆设计对环境保护的要求,内装选材中的防火考虑及措施,车辆整车隔热系

数 K 值的限制值, 列车零部件保养、维修与换修的通用性、互换性、便利性及可靠性, 以及便于对车体内外的机械化清洗作业等诸方面, 都具有明确的要求与限制。

2.1.2 车体结构的具体要求

车体结构是车辆的主要承载结构。对于动车组车辆的结构设计应该满足以下要求:

- ① 车体承载结构采用车体全长的大型中空铝合金型材组焊而成, 或采用不锈钢车体, 为薄壁筒型整体承载结构;
- ② 车体承载结构的底架、侧墙、车顶、端墙及设备舱组成为一个整体;
- ③ 车头前端鼻部的开闭机构应能在司机室中操纵;
- ④ 车体所用材料应符合环境保护和防火的要求;
- ⑤ 车下安装设备应采用吊挂安装方式, 保证运用安全和安装方便;
- ⑥ 车下导流罩与侧墙应圆滑过渡, 在限界允许的条件下距轨面的距离应尽可能小;
- ⑦ 室前端下方装有排障器, 排障器中央的底部能承受 137 kN 的静压力。其距轨面高度为 (110 ± 10) mm (在车轮踏面磨耗允许范围内可调);
- ⑧ 车底架设四个顶车位, 以便将车体顶起;
- ⑨ 脚蹬结构应采用可伸缩式结构, 以便适应 500 ~ 1 200 mm 站台高度要求。

我国的高速列车动车组 CRH₁、CRH₂、CRH₃、CRH₅ 由于引进的原型车不同, 各动车组在结构的设计理念、设计特点及诸多的设计细节上都有所不同。

2.2 CRH₁ 型动车组车体结构

CRH₁ 车的不锈钢车体外壳在设计及其制造过程上体现了艺术与科技的融合。车体外壳的优化设计不仅实现了高速列车对车体外壳的要求, 而且满足了世界市场对经济型产品的需求。车体外壳的设计符合碰撞安全性、乘坐舒适性、车辆自重轻量化和经济型产品的要求。CRH₁ 车采用单层外壳内部构架结构, 高度自动化点焊处理。车体设计制造沿整个车长为开放的不锈钢筒状壳体, 可以适用于不同的内部装饰设计方案。与原型车相比, 车体更为宽敞舒适。

CRH₁ 车的设计概念以多节车编组、高速、高负载、高自然频率的列车为基础。因此, 车体外壳充分符合车体整体强度及整体刚度的要求。

CRH₁ 车的设计采用了不锈钢材料, 具有寿命周期成本低、良好的防腐及防火性能; 车体采用自动化点焊组装, 能够减小尺寸公差, 取得更好的外部处理效果, 使质量得到可靠保证, 但车体结构的质量比铝制车体稍大。

1. CRH₁ 车的设计分析

① 根据基本设计依据和主要设计数据, 对作用在车体上的载荷 (如: 垂向静载荷、垂向动载荷、纵向力、侧向力及扭转载荷等) 进行分析。

② 在对作用在车体上的载荷进行分析的基础上, 合理地确定数学计算模型 (包括车体结构几何图形的确定、结构对称性的利用、结构的离散化、载荷的处理及边界约束的设