

高等学校高速铁路系列教材

# 动车组

# 车辆设计技术

主 编 商跃进 薛 海

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

## 内容简介

本书全面介绍了动车组车辆的设计理论与设计技术，内容包括动车组车辆设计概述，动车组车辆总体设计，动车组车辆动力性能设计，动车组车辆结构强度分析基础，动车组车辆转向架零部件设计，动车组车辆车体设计，动车组车辆车端连接装置设计等。

本书可作为高等学校铁道机车车辆类、城市轨道交通车辆类车辆工程专业硕士研究生和本、专科大学生的教材，也可供轨道车辆设计、制造工程技术人员使用和参考。

---

### 图书在版编目 (C I P) 数据

动车组车辆设计技术 / 商跃进, 薛海主编. —成都:  
西南交通大学出版社, 2021.1  
高等学校高速铁路系列教材  
ISBN 978-7-5643-7689-5

    . 动... . 商... 薛... . 动车 - 设计 -  
高等学校 - 教材 . U266

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 187893 号

---

高等学校高速铁路系列教材

Dongchezu Cheliang Sheji Jishu

动车组车辆设计技术

主 编 / 商跃进 薛 海

责任编辑 / 何明飞

封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)

发行部电话: 028-87600564 028-87600533

网址: <http://www.xnjdcbs.com>

印刷: 成都中永印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 17.75 字数 440 千

版次 2021 年 1 月第 1 版 印次 2021 年 1 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-7689-5

定价 65.00 元

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 【 前 言 】 >>>>

---

## PREFACE

随着计算机技术和 CAD/CAE 技术的发展,铁道车辆设计方法和设计手段得到极大的改善。2007 年 4 月,我国铁路第六次大提速后,随着高速动车组在我国铁路上的顺利运行,无论是从事动车组设计的人员,还是从事动车组制造和运用的人员,尤其是大专院校的相关师生都急需一本全面、系统地论述动车组车辆设计理论与设计方法的书籍,基于这样的目的,作者编写了《动车组车辆设计技术》一书,从动车组车辆设计理论和设计方法两个方面进行了详细的论述。

全书共分 7 章,第 1 章介绍了动车组车辆设计的设计原理和设计过程、发展历程和发展趋势,第 2 章介绍了高速动车组车辆的总体设计的原则、步骤、方法和内容,第 3 章介绍了车辆动力性能评价方法与评价指标、动力学模型建立、悬挂参数设计等动车组车辆动力性能设计原理与方法,第 4 章介绍了疲劳强度设计、损伤容限设计、可靠性设计及优化设计等动车组车辆结构强度分析基础理论,第 5 章介绍了转向架零件结构设计的设计标准与评价方法,第 6 章介绍了动车组车辆车体的外

形设计和结构设计的原理和方法，第7章介绍了动车组车辆车端连接装置设计，主要包括车钩、缓冲器、风挡等零部件设计。

本书主要侧重介绍动车组车辆的设计方法和设计工具，力求理论联系实际。全书内容系统全面、图文并茂、简洁实用。

本书由兰州交通大学商跃进、薛海主编，其中第1章、第3章由董雅宏编写，第2章、第6章由李振华编写，第4章、第7章由商跃进编写，第5章由薛海编写。

PREFACE

本书在编写过程中得到了兰州交通大学机电工程学院与教务处领导及其他老师的大力帮助。本书的出版还得到了西南交通大学出版社编辑人员的大力协助。在此，编者向所有为该书出版提供过支持和帮助的人们致以衷心的感谢。本书还借鉴了相关书籍、资料和学位论文中的研究成果，已在参考文献中注明，在此向这些资料的作者表示感谢。

由于编写时间仓促，作者水平所限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2020年7月于兰州

# 【 目 录 】 >>>>

## CONTENTS

<b>1</b>	<b>动车组车辆设计概述</b> ·····	001
	1.1 轨道交通车辆开发概述·····	001
	1.2 动车组设计理论及发展趋势·····	006
	<b>复习思考题</b> ·····	009
<b>2</b>	<b>动车组车辆总体设计</b> ·····	010
	2.1 车辆总体设计概述·····	010
	2.2 车辆技术参数设计·····	013
	2.3 车辆总体布置设计·····	020
	2.4 转向架总体设计·····	029
	<b>复习思考题</b> ·····	036
<b>3</b>	<b>动车组车辆动力性能设计</b> ·····	037
	3.1 动车组动力学性能概述·····	037
	3.2 车辆垂向动力学性能分析·····	040
	3.3 车辆横向稳定性分析·····	049
	3.4 车辆曲线通过性能分析·····	062
	3.5 车辆系统动力学性能及其评价指标·····	082
	3.6 动车组动力学仿真分析·····	089
	3.7 动车组动力学性能试验·····	106
	<b>复习思考题</b> ·····	110
<b>4</b>	<b>动车组车辆结构强度分析基础</b> ·····	112
	4.1 概 述·····	112
	4.2 车辆结构件计算载荷确定·····	114
	4.3 车辆零部件应力计算·····	119
	4.4 车辆结构强度评定·····	125

<b>5</b>	<b>转向架零部件设计</b> .....	148
	5.1 转向架基本组成 .....	148
	5.2 悬挂元件结构设计 .....	150
	5.3 轮轴设计 .....	177
	5.4 轮对压装与轮轨接触分析 .....	199
	5.5 转向架构架设计 .....	204
	5.6 转向架其他零件设计 .....	219
	5.7 转向架关键部件强度试验 .....	227
	复习思考题 .....	232
<b>6</b>	<b>动车组车辆车体设计</b> .....	233
	6.1 车体设计概述 .....	233
	6.2 车体外形设计 .....	234
	6.3 车体结构设计 .....	242
	复习思考题 .....	263
<b>7</b>	<b>车端连接装置设计</b> .....	264
	7.1 概 述 .....	264
	7.2 密接式车钩设计 .....	264
	7.3 缓冲器设计 .....	266
	7.4 车钩缓冲装置试验 .....	267
	7.5 风挡设计 .....	268
	复习思考题 .....	270
	参考文献 .....	271





动车组是铁路和城市轨道交通系统的关键运载工具，目前，动车组车辆产品设计、制造面临着全球化的挑战，阿尔斯通、庞巴迪、西门子、川崎重工、中国中车等国际化集团公司之间在大铁路和城市轨道交通领域的竞争越来越激烈，这对轨道车辆的设计提出了更高的要求。

本章主要介绍动车组车辆的开发过程、设计原理和发展趋势、现代设计理论和方法及虚拟样机设计技术。

## 1.1 轨道交通车辆开发概述

### 1.1.1 典型产品的开发过程

典型的产品设计开发过程包含 4 个阶段：概念开发和产品规划阶段、详细设计阶段、小规模生产阶段、增量生产阶段。

(1) 概念开发与产品规划阶段。将有关市场机会、竞争力、技术可行性、生产需求的信息综合起来，确定新产品的框架。包括新产品的概念设计、目标市场、期望性能的水平、投资需求与财务影响。在决定某一新产品是否开发之前，企业还可以用小规模试验对概念、观点进行验证。试验可包括样品制作和征求潜在顾客意见。

(2) 详细设计阶段。一旦方案通过，新产品项目便转入详细设计阶段。该阶段基本活动是产品原型的设计与构造，以及商业生产中使用的工具与设备的开发。详细产品工程的核心是“设计—建立—测试”循环。所需的产品与过程都要在概念上定义，而且体现于产品原型中（可在计算机中或以物质实体形式存在），接着应对产品进行模拟使用测试。如果原型不能体现所期望的性能特征，工程师则应寻求设计改进以弥补这一差异，重复进行“设计—建立—测试”循环。详细产品工程阶段结束以产品的最终设计达到规定的技术要求并签字认可作为标志。

(3) 小规模生产的阶段。在该阶段中，在生产设备上加工与测试的单个零件已装配在一起，并作为一个系统在工厂内接受测试。在小规模生产中，应生产一定数量的产品，也应测试新的或改进的生产过程应付商业生产的能力。正是在产品开发过程中的这一时刻，整个系统（设计、详细设计、工具与设备、零部件、装配顺序、生产监理、操作工、技术员）组合在一起。

(4) 开发的最后一个阶段是增量生产。在增量生产中，最初在一个相对较低的数量水平上进行生产；当组织对自己（和供应商）连续生产能力及市场销售产品能力的信心增强时，开始增加产量。

### 1.1.2 缩短产品开发设计时间的途径

当今时代，产品成熟过程越来越快，为了保持企业在市场上的竞争优势，必须加快新产品的开发设计过程，缩短新产品的开发设计周期。但实际情况却是，许多企业的设计开发周期往往很长，一般要占到总生产周期的60%，因而成为企业生产经营的“瓶颈”。如何大力缩短设计开发周期已成为当今制造企业的一项重要课题。目前已有不少方法可用来缩短新产品的开发设计时间，下面列举了介绍了几种主要的方法：

#### 1. 提高产品“三化”程度，扩大产品结构继承性

产品“三化”是指产品系列化、零部件的通用化和标准化。产品系列化以减少产品品种，简化设计。零部件通用化可以大大减少零部件的品种数量，从而减少了大量的产品设计工作量，相应地又可减少工艺准备工作量，因而能极大地缩短它们的生产技术准备周期。零部件标准化可减少设计和加工制造的工作量，缩短生产技术准备周期。

#### 2. 产品结构模块化设计

产品结构模块化是另一种简化设计、减少零部件总数的设计合理化措施。它是将产品部件按功能特征分解成相对独立的功能单元，并使它们的接口（结合要素形状、尺寸）标准化，使它们成为可以互换、可按不同用途加以选用组合的标准模块。这些模块的不同组合，或模块与其他部件的组合就能构成各种变形产品，以满足不同的订货需要。

#### 3. 计算机辅助设计

计算机辅助设计将新产品设计开发过程中，大量烦琐的重复性劳动，如插表、计算、绘图、制表等，交给计算机来处理，从而大大地提高了设计开发工作的效率，缩短了新产品设计开发周期。

#### 4. 并行工程

并行工程把分阶段顺序进行（串行）的过程变为并行进行的过程，使产品开发不再是产品设计一个部门的工作，而是所有对产品开发具有重要影响的部门都参与的集体工作。实现并行工程的技术手段是利用产品模型，在计算机上进行仿真，产生软样品。通过各种职能人员对软样品的分析、评估，来改进设计。在开发设计新产品时，同步地设计产品生命周期的有关过程，力求使产品开发人员在设计阶段就考虑到整个生命周期的所有因素，包括设计、分析、制造、装配、检验、维护、可靠性和成本等。

### 1.1.3 轨道车辆产品开发过程

轨道车辆产品开发过程如下：调查研究与初始决策 制订设计技术任务书 车辆设计 工厂组织试制、试验和鉴定 小批量生产及运用考验 国铁集团组织鉴定 批量生产。

#### 1. 技术任务任务书

设计任务书是确定产品设计方案的基本文件，是设计工作的指令性文件，设计任务书也被称为技术任务书，是指导新产品设计的基础文件。编制设计任务书是对新产品进行选型，

确定最佳设计方案，合理选择新产品的类型、结构和决定设计原则，确定新产品的用途、技术要求及基本结构，以此作为后阶段的设计依据。

编制技术任务书是产品设计的一个重要阶段。它要求在设计调查的基础上、明确设计某种新产品的必要性，正确选择结构类型和决定设计方案的原则，确定产品的技术结构，说明设计该产品的现实性，并为产品的技术设计制定目标。设计任务书是产品设计工作的依据，一般设计任务书的内容包括 6 项：

- (1) 产品用途（客运/货运、高速/普速）。
- (2) 基本技术条件（轨距、构造速度、限界、通过最小曲线半径等）。
- (3) 主要技术参数（固定轴距、车辆定距等）。
- (4) 车辆零部件的型式与要求：
  - 车体型式与要求；
  - 转向架的型式与要求；
  - 制动装置的型式与要求；
  - 车钩缓冲装置的型式与要求；
  - 车辆设备的型式与要求（客车的供电设备、采暖及空调设备、卫生及给水设备等）。
- (5) 材质要求。
- (6) 其他要求。

## 2. 车辆设计过程

任何产品的问世都必须经历设计和制造两个环节。设计（design）是以社会需求为目标，在设计准则的约束下，基于设计方法的指导，通过人的创造性思维活动，利用一定手段描述具有特定功能和规定性能的产品结构的过程，其结果是定义产品形状和大小设计图纸。制造（manufacturing）是以设计图纸为依据，利用加工设备和制造资源，将原材料转换为产品实物的过程。

车辆设计工作由设计技术任务书下达后开始，一般经过方案设计、技术设计和工作图设计阶段。

- (1) 方案设计是确定所开发产品的原理解，主要完成总体布置图等工作，包括：

车辆主要规格和性能说明文件。

车辆总体布置图：平面布置图、立面布置图、车下设备布置图和钢结构梁柱布置图等。

特殊的或关键性的零部件。

必要的结构性能参数及强度计算（或估算），车辆纳入限界和车辆进入曲线计算，客车的质量均衡估算等。

车辆主要技术经济指标及与国内外同类产品的比较。

新技术新结构及关键性零部件的先期试验计划，试验结构的设计，试验大纲编制，并进行必要的性能试验。

材料的主要规格，以及标准化的综合要求等。

- (2) 技术设计是寻找所开发产品的结构解，应完成机械工作图等工作。

技术设计阶段进一步确定产品结构和技术经济指标，以图、系统图、明细表、说明书等形式表示出来。技术设计阶段应完成的工作包括：

车辆总体及主要零部件的强度、刚度及性能参数计算、分析和实验。

确定设计产品的零部件具体结构、尺寸和配合，并绘制出车辆总图、必要的大部件组成图、主要零件图、零部件间的关系尺寸和运动位置图。

传动、液压、电气和冷却系统图。

产品部件、附件、备件、外购件、协作件等明细表及特殊材料明细表。

编写设计说明书，说明产品结构特点和配合关系及主要零件强度、刚度等的计算，技术经济指标，制造劳动量，工艺性比较数据等。

制定产品加工和装配的程序及产品验收、交货的技术条件。

设计中采用新结构，新原理的试验记录及结论。

对新产品进行技术经济分。

外贸车辆的包装，吊运技术要求以及所需的主要材料估算表。

(3) 工程图设计是寻找所开发产品的工艺解，也叫施工设计，应完成加工组装图等工作。

车辆设计图纸和技术文件直接表达了产品的技术水平和对产品的质量要求，规定了产品的性能和使用维修条件，是组织车辆生产的主要依据之一。工作图设计是产品设计的完成阶段。它是在批准的技术设计的基础上，设计和绘制生产所需的全套图纸和技术文件，为产品试制提供确切的依据。施工设计阶段应完成的工作如下：

绘制车辆全部零部件图纸，制订其加工制造技术要求，包括绘制全部零件的工作图、详细注明尺寸、公差配合、材料和技术条件，在零件图基础上绘制产品总图、部件装配图、安装图。

编写零件一览表，编制图纸目录。

通用件、标准件、外购件、外协件及材料等的明细表。

备件及易损件清单。

编写各种必需的技术文件，包括产品设计说明书和使用维护说明书等。

### 3. 车辆设计的内容

动车组设计的内容包括动车组总体设计、总成设计和零件设计。

(1) 动车组总体设计又称为总布置设计，其任务是使所设计的产品达到设计任务书所规定的整列车参数和性能指标的要求，并将这些整车参数和性能指标分解为有关总成的参数和功能。

(2) 动车组总成设计，主要任务是满足整列车设计对总成功能和布置的要求，也有一个是否易于维修、保养的人-机关系问题。

(3) 零件设计，主要是满足总成的设计要求并解决强度、寿命和生产技术问题。

### 4. 车辆设计原则

车辆是铁路运输的基本工具，设计制造出更多、更好的车辆以适应铁路运输的要求，是铁道车辆生产部门的重要任务。车辆设计是车辆生产的第一道工序，通俗地讲车辆设计应贯彻“安全第一，照章办事！”的基本原则，具体原则包括：

(1) 要求运用安全、经济合理、技术先进。

(2) 做到保证使用、方便修造、美观舒适。

- (3) 积极采用和发展“三新”，即新技术、新工艺、新材料。
- (4) 必须重视产品的“三化”，即标准化、通用化、系列化。
- (5) 在保证可靠性的前提下尽可能轻量化。
- (6) 设计要在有关标准和法规的指导下进行。

#### 5. 车辆试制、试验和鉴定任务

车辆设计完毕之后，一般应立即投入试制，并进行必要的试验，以便及时发现问题，改进设计，然后进行厂级鉴定，在小批生产和试运良好的基础上组织部级鉴定。

设计人员应做好下列工作：

- (1) 搞好试制工作的现场服务，做好图纸和技术文件的验证工作。
- (2) 进行必要的样品强度试验和性能试验工作。
- (3) 为厂级鉴定提供设计工作报告和标准化审查报告。
- (4) 搜集整理小批生产和试运行资料，为部级鉴定做准备。
- (5) 此外，在车辆生产中和出厂后，车辆设计人员还应该做好技术服务工作，认真积累车辆生产、运用、检修方面的资料，及时正确地处理有关产品质量问题。

#### 6. 新产品试制各阶段标准化审查内容

##### (1) 设计研究阶段的审查内容。

设计图样和技术文件贯彻使用各类有关标准的正确性。

设计图样和技术文件的清晰、完整和统一性。

零部件、元器件和结构要素的标准化程度。

材料标准的贯彻情况。

##### (2) 样机试制阶段的审查内容。

审查设计图样和技术文件的质量水平。

新产品名称、型号的审查。

审查产品标准化指标是否达到“综合要求”所规定的水平，如标准化系数、标准化经济效果。

设计图样和技术文件贯彻使用各类标准的审查。

材料标准的贯彻情况。

##### (3) 小批件试制阶段。

审查工艺文件是否正确、完整、统一。

审查标准化指标是否达到“综合要求”规定的水平，如工装标准化系数及工装的继承性。

样机鉴定时，标准化意见采纳改进情况。

工艺文件贯彻执行情况，工装设计图样、文件的审查。

审查产品标准草案制订情况。

#### 7. 车辆试制、试验和鉴定任务

车辆设计完毕之后，一般应立即投入试制，并进行必要的试验，以便及时发现问题，改进设计，然后进行厂级鉴定，在小批生产和试运良好的基础上组织部级鉴定。

设计人员应做好下列工作：搞好试制工作的现场服务，做好图纸和技术文件的验证工作；进行必要的样品强度试验和性能试验工作，为厂级鉴定提出设计工作报告和标准化审查报告；搜集整理小批生产和试运行资料，为部级鉴定做准备。此外，在车辆生产中和出厂后，车辆设计人员还应该做好技术服务工作，认真积累车辆生产、运用、检修方面的资料，及时、正确地处理有关产品质量问题。

## 1.2 动车组设计理论及发展趋势

### 1.2.1 动车组设计理论的作用

动车组设计理论是指导动车组设计实践的，而动车组设计实践经验的长期积累和动车组生产技术的发展与进步，又使动车组设计理论得到不断的发展与提高。动车组设计技术是动车组产品设计的方法和手段，是动车组设计实践的软件和硬件。

由于动车组是一种包罗了各种典型机械元件、零部件、各种金属与非金属材料及各种机械加工工艺的典型机械产品，因此其设计理论显然要以机械设计理论为基础，并考虑到其结构特点、使用条件的复杂多变以及大批量生产等情况。它涉及许多基础理论、专业基础理论及专业知识，如工程数学、工程力学、热力学与传热学、流体力学、空气动力学、振动理论、机械制图、机械原理、机械零件、工程材料、机械强度、电工学、电控与微机控制技术、液压技术、车辆系统动力学、车辆构造、车身美工与造型、车辆制造工艺与维修等。

动车组设计技术经历了由经验设计发展到以科学实验和技术分析为基础的设计阶段，自20世纪60年代中期在设计中引入电子计算机后又形成了计算机辅助设计(CAD)等新方法，使设计逐步实现向半自动化和自动化演变。

经验设计是以已有产品的经验数据为依据，运用一些带有经验常数或安全系数的经验公式进行设计计算的一种传统的设计方法。这种设计由于缺乏精确的设计数据和科学的计算方法，使所设计的产品不是过于笨重就是可靠性差。一种新车型的开发往往要经过设计—试制—试验等二次或多次循环，反复修改图纸，完善设计后才能定型，设计周期长、质量差、消耗大。

随着测试技术的发展与完善，在动车组设计过程中引进新的测试技术和各种专用的试验设备，进行科学试验，从各方面对产品的结构、性能和零部件的强度、疲劳寿命进行测试。同时，广泛采用近代数学物理分析方法，对产品及其总成、零部件进行全面的 technical 分析、研究，这样就使动车组设计发展到以科学试验和技术分析为基础的阶段。

电子计算机的出现和在工程设计中的推广应用，使动车组设计技术飞跃发展，设计过程完全改观，实现了可视化。动车组结构参数及性能参数等的优化选择与匹配、零部件的强度核算与疲劳寿命预测、产品有关方面的模拟计算或仿真分析、车身的流线和美工造型、设计方案的选择及定型、设计图纸的绘制，均可在计算机上进行。采用计算机作为分析计算手段，由于其计算速度很快且数据容量很大，就可采用较准确的多体数学模型来模拟动车组在各种工况下的运动，然后采用现代先进的数学方法进行分析，可取得较准确的结果，这就为设计人员分析多种方案进行创造性的工作提供了很大的方便。当前，由于计算机的外部设备及人机联系方面的发展，已可将计算机的快速计算和逻辑判断能力、大容量的数据储存及高效的

数据处理能力、计算结果的动态图像显示功能与人的创造性思维能力及经验结合起来，实现人机对话式的半自动化设计，或与产品设计的专家系统相结合，实现自动化设计。这一设计过程可有电子计算机对有关产品的大量数据、资料进行检索，对有关设计问题进行高速的设计计算，通过计算机屏幕显示其设计图形和计算结果，设计人员也可用光笔或人机对话语言直接对图形进行修改。取得最佳设计方案后，再由与计算机联机的绘图设备绘出产品图纸。这种利用计算机及其外部设备进行产品设计的方法，统称为计算机辅助设计。

现代设计方法大都以计算机技术为基础，由不同层次的计算机应用软件来支撑，对大量的公式推导和死记硬背是没有必要的，也是不可取的。学习现代设计方法最主要的任务是掌握其理论与原理，了解其作用与局限性，并学会用 CAD/CAE 软件来解决工程实际问题。

## 1.2.2 虚拟样机技术

### 1. 虚拟样机技术简介

传统的产品开发，常需要花费大量的时间、人力、物力来制作实物模型进行各种装配实验研究，力求在产品的可行性、实用性和产品性能等方面进行系统的测试分析。为了缩短产品开发设计时间，常采用的措施包括：提高产品“三化”程度，扩大产品结构继承性；开展产品结构模块化设计，减少零部件总数；采用计算机辅助设计，用计算机来处理大量烦琐的重复性劳动；基于并行工程思想，使所有对产品开发具有重要影响的部门协调工作。

现代的虚拟样机技术将产品研制工作中的方案选择、技术设计、部件装配、结构分析和性能优化在计算机虚拟环境下进行，充分利用先进的计算机软硬件技术，提高产品的性能，缩短产品的设计周期，进而降低产品开发成本，提高市场竞争力。例如，美国波音公司 777 飞机的虚拟原型机，就是利用虚拟产品设计进行全数字化三维描述，实现了产品设计的虚拟模型和无纸工程等。

虚拟样机技术是以并行工程思想为指导，建模仿真理论为核心，以各领域 CAx(如 CAD、CAM、CAE 等)/DFx(如 DFA、DFM 等)/仿真为工具的一种综合应用技术。虚拟样机是由分布的不同工具开发的甚至异构的子模型组成的模型联合体，虚拟样机贯穿产品全生命周期，如图 1.1 所示。

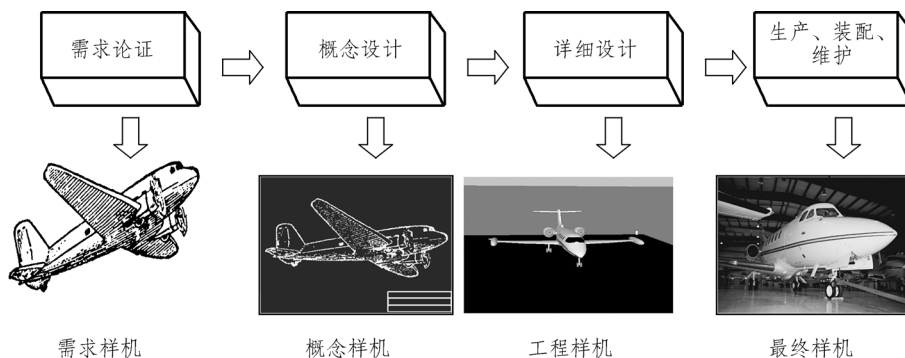


图 1.1 虚拟样机的类型

## 2. 虚拟样机技术在铁路产品开发中的应用

德国机器人和系统动力学研究所的研究人员将 CAD 软件、有限元分析软件 ANSYS、多体动力学仿真软件 SIMPACK，以及疲劳寿命预测分析软件 FATIGUE 有效地集成在一起，通过建模/仿真对铁路车辆转向架进行疲劳寿命预测分析，具体步骤如下：

(1) 利用多体动力学仿真计算出作用到转向架的动态负载。转向架构架被作为弹性体进行考虑，而高度非线性的轮轨接触则被建模为准弹性体。

(2) 利用有限元分析计算出在动态负载作用下，转向架应力元集中地方的应力。

(3) 将这些应力值输入到疲劳寿命预测分析软件中，进行转向架疲劳寿命的预测。

虚拟样机技术在铁道车辆设计中的应用涉及强度、动力学、空气动力学等多个领域，如图 1.2 所示。我国应用铁科院仿真计算中心提供的高级软件平台，完成了将虚拟样机技术应用到铁道车辆设计的各个过程中，初步解决了将虚拟样机制造技术应用到铁道车辆设计的各个关键技术。在有关工厂的配合下，该技术已被应用到新型高速列车转向架的设计中。实践证明，虚拟样机制造技术在我国新型高速铁道车辆的设计领域中发挥越来越重要的作用。

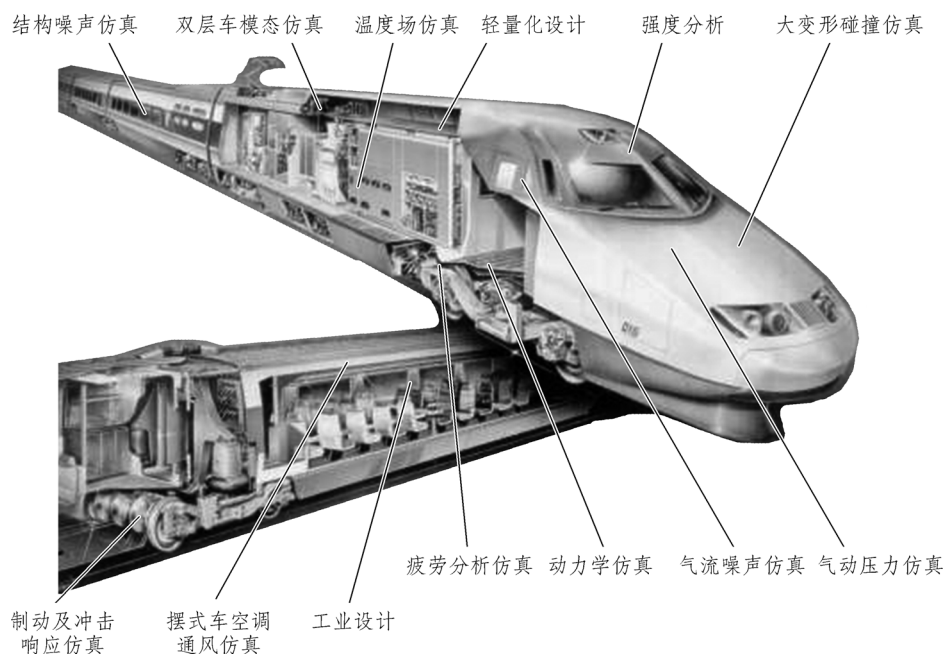


图 1.2 铁路车辆虚拟样机技术设计的分析内容

虚拟样机制造技术在铁道设计过程中的应用过程如图 1.3 所示。具体内容如下：应用实体造型软件如 Pro/E、SolidWorks 等进行三维实体造型；实体模型可以直接引入到动力学软件中作为动力学系统的体单元进行几何干涉的检验，避免车辆系统部件之间出现碰撞。在不需要进行干涉检查时，可以将实体模型中精确计算到的部件质量和转动惯量作为参数输入到动力学模型中，进行动力学参数的优选和方案制订。在考虑物体的弹性时，可以将将这些三维实体模型引入到有限元软件中进行网格划分建立有限元模型，并将其引入到动力学模型中建立多柔度系统，从而更为精确地求解系统的动态特性；应用疲劳分析软件，直接利用有限



元网格和边界条件，可以根据以往车辆实验数据对设计阶段系统的载荷谱进行初算。在疲劳寿命分析不能满足要求时，可以修改系统结构模型以提高构件强度或修改系统的动力学参数，以降低系统动态载荷作用。

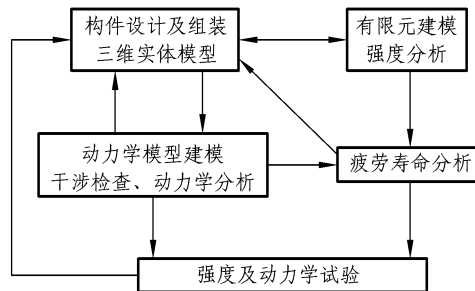


图 1.3 虚拟样机技术在铁道车辆设计中的应用

### 复习思考题

1. 简述产品开发的流程和设计过程。
2. 简述车辆设计任务书的内容。
3. 简述车辆设计的原则、步骤及内容。
4. 简述车辆设计类型及设计内容。
5. 简述动车组设计理论的发展趋势。
6. 简述虚拟样机技术的定义。