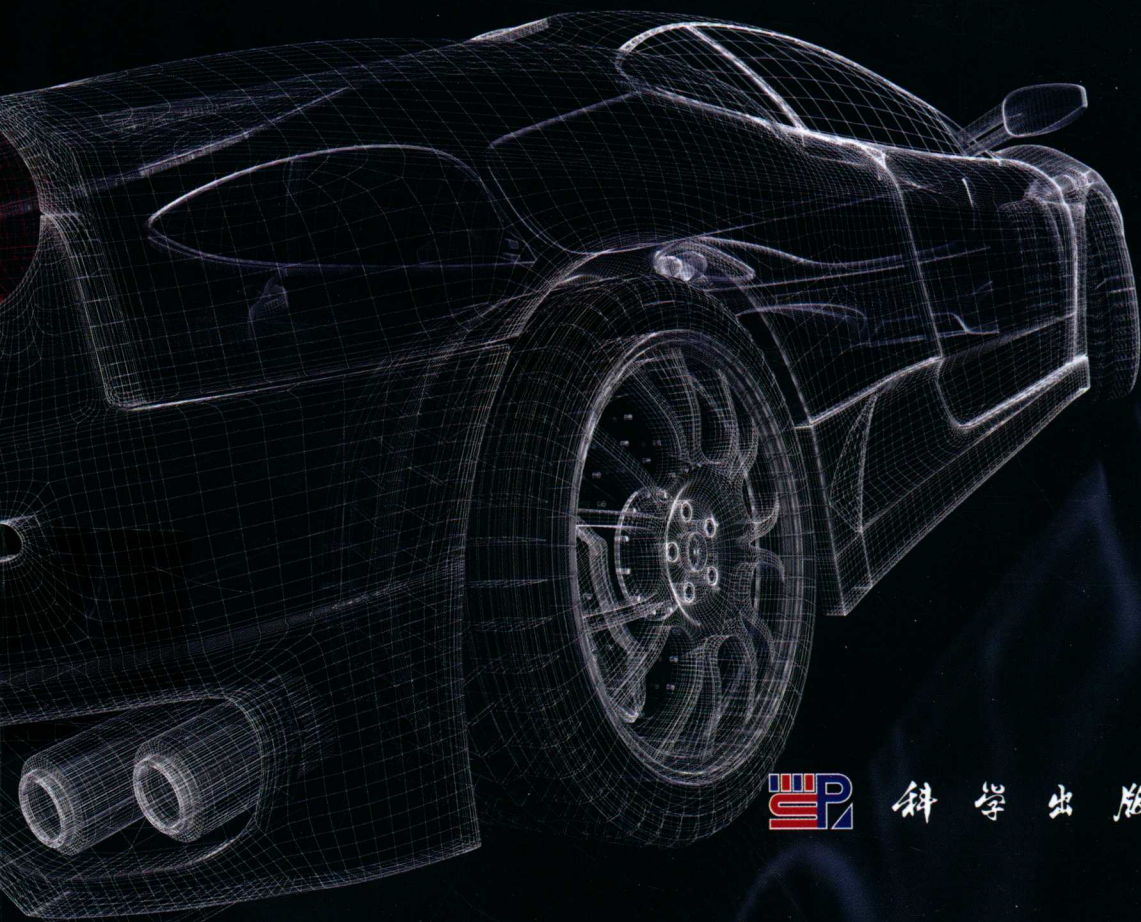


车身数字化 设计技术基础

Fundamentals of Automobile Body Digital
Design Technology

侯文彬 靳春宁 李宝军/编



科学出版社

车身数字化设计技术基础

侯文彬 靳春宁 李宝军 编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统介绍汽车车身数字化设计技术的基本理论、应用技术和方法。全书共分六章,内容包括:绪论、车身、车身数字化建模数学基础、Siemens NX 三维几何建模、车身建模的基本概念与质量要求、车身制图。本书内容丰富,图文并茂,基础与应用并重,着重从应用出发,重视理论联系实际的特点。

本书可作为汽车车身设计专业和车辆工程专业本科生和研究生的教材,也可以作为相关企业从事车身 CAD 的工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

车身数字化设计技术基础 / 侯文彬, 靳春宁, 李宝军编. —北京: 科学出版社, 2016.3

ISBN 978-7-03-047476-6

I. ①车… II. ①侯… ②靳… ③李… III. ①数字技术—应用—汽车—车体—设计 IV. ①U463.8-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 043829 号

责任编辑: 张 震 杨春波 / 责任校对: 李 影
责任印制: 张 倩 / 封面设计: 无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 3 月第一次印刷 印张: 15

字数: 300 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

自 1886 年第一辆汽车诞生以来,汽车工业已经经历了 100 多年的发展历程。现在汽车已经发展成为一种普及的交通运输及代步工具,它以其具有动感的造型特点和色彩装饰,给人以美的享受和强烈的精神感染,而体现这种美的重要载体就是车身,车身是指汽车上除底盘和电气系统之外的相对独立的系统,包括车身钣金件及其附件,能够直接体现设计师的设计思想,而且车身结构对整车的性能有重要影响,车身开发的成功与否,将直接影响整车性能及市场前景。正因如此,世界上各大汽车商都在车身开发上投入了大量的人力、物力和财力,车身开发技术也在发生着巨大的变化。20 世纪 70 年代以前,车身设计开发基本上一直停留在手工阶段,自 70 年代计算机辅助技术逐渐应用于工业设计领域以来,工程技术人员不仅抛开了沉重的绘图笔与绘图板,还实现了对设计对象空间信息的三维数字化描述。

虽然三维数字化建模技术已经成为汽车车身设计的必备手段和必修课程,但目前的相关教材还是以三维建模通用技术的软件介绍为主,缺乏结合汽车专业知识的专门性教材。作为面向车辆工程专业的专业课程教材,本书内容围绕汽车车身且以车身三维建模技术为主线,讲述车身结构组成、车身图形学原理、车身制图方法和规范以及车身三维建模的软件使用等内容。同时,本书特别引入“车身建模的基本概念与质量要求”一章,对车身曲面的建模方法和质量控制进行专业系统的讲述,满足从事车身造型设计人员的专业需求。

全书共分六章,大连理工大学汽车工程学院的李宝军博士编写第 1 章和第 3 章;吉林大学汽车工程学院的靳春宁副教授编写第 2 章和第 6 章;由本人编写本书的第 4 章和第 5 章。书中大量实例均为作者从事实际工程多年所积累的素材。感谢吉林大学汽车工程学院陈鑫教授对全书进行细致的审稿,感谢大连理工大学汽车工程学院的刘学术副教授对本书的修改建议。陈美玉、杨星、夏明栋研究生参加了书稿实例的整理工作,在此一并感谢!

本书的出版获得大连理工大学教育教学改革基金的资助,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中的缺点和疏漏在所难免,不当之处敬请读者指正。

侯文彬

2015 年 11 月于大连理工大学

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 汽车车身 CAD 概述	1
1.1.1 CAD 简介	1
1.1.2 车身 CAD/CAM 的应用与发展	2
1.1.3 国外车身设计与制造技术应用现状	5
1.2 汽车车身 CAD/CAM 的基本内容	7
1.2.1 车身 CAS	7
1.2.2 车身结构 CAD	9
1.2.3 模具 CAD	10
1.2.4 模具 CAM	10
1.3 汽车车身 CAD/CAM 系统	11
1.3.1 CAD/CAM 系统构成	11
1.3.2 CAD/CAM 系统选型	12
1.3.3 车身 CAD/CAM 系统配置	12
1.4 现代车身开发流程与并行工程	13
1.4.1 现代车身开发流程	13
1.4.2 车身开发中的并行工程	15
1.5 汽车车身轻量化设计与制造简介	17
1.6 课后习题	23
参考文献	23
第2章 车身	24
2.1 早期的车身	24
2.2 车身的定义及必要术语	25
2.3 车身的基本结构	27
2.4 轿车车身的主要构件	29
2.4.1 车身本体	29
2.4.2 发动机盖	31
2.4.3 车顶盖	32
2.4.4 行李箱盖	32
2.4.5 翼子板	33

2.4.6 前围板	34
2.4.7 车门	34
2.5 车身开发流程	35
2.5.1 项目策划	36
2.5.2 概念设计阶段	36
2.5.3 油泥模型制作阶段	37
2.5.4 产品设计工程阶段	38
2.5.5 车身造型三维数据	39
2.5.6 主断面设计	40
2.5.7 白车身设计	40
2.5.8 内外饰工程设计	41
2.5.9 工程分析阶段	41
2.5.10 样车试制和试验阶段	41
2.5.11 生产预备阶段	42
2.5.12 批量生产	42
2.6 课后习题	42
参考文献	42
第3章 车身数字化建模数学基础	43
3.1 形状表示基础	43
3.1.1 形状数学描述的发展主线	43
3.1.2 对于形状数学描述的要求	44
3.1.3 曲线曲面微分属性	44
3.2 参数曲线建模	48
3.2.1 参数三次样条曲线	48
3.2.2 Bézier 曲线	50
3.2.3 B 样条曲线	56
3.2.4 NURBS 曲线	72
3.2.5 三次 Hermite 插值	74
3.2.6 三次参数曲线段的三种等价表示法	75
3.2.7 参数连续性与曲线光顺性	75
3.3 参数曲面建模	77
3.3.1 参数曲面表示	77
3.3.2 Bézier 曲面	79
3.3.3 B 样条曲面	81
3.3.4 NURBS 曲面	85
3.3.5 车身曲线曲面光顺性评价	87
3.4 课后习题	92
参考文献	93

第4章 Siemens NX 三维几何建模	94
4.1 NX 软件操作基础	94
4.1.1 NX 常用功能模块	94
4.1.2 NX 工作流程	95
4.1.3 NX 工作界面及其定制	96
4.1.4 常用菜单和常用功能	98
4.1.5 NX 常用操作和快捷方式	107
4.1.6 小结	111
4.1.7 课后习题	111
4.2 NX 草图设计	111
4.2.1 创建草图	112
4.2.2 草图工具条简介	113
4.2.3 创建草图对象	113
4.2.4 约束草图	115
4.2.5 草图操作	117
4.2.6 小结	122
4.2.7 课后习题	122
4.3 实体特征设计	123
4.3.1 扫描特征	123
4.3.2 成型特征	126
4.3.3 基准	128
4.3.4 基本体素特征	129
4.3.5 特征操作	132
4.3.6 几何体运算	134
4.3.7 关联复制特征	137
4.3.8 编辑特征	138
4.3.9 小结	142
4.3.10 课后习题	142
4.4 NX 曲线设计	143
4.4.1 生成曲线	143
4.4.2 曲线操作	145
4.4.3 编辑曲线	146
4.4.4 曲线分析	147
4.4.5 小结	150
4.4.6 课后习题	150
4.5 曲面设计	151
4.5.1 由点构建曲面	152
4.5.2 由线构建曲面	153

4.5.3 基于已有曲面构成新曲面	156
4.5.4 曲面编辑	157
4.5.5 曲面分析	158
4.5.6 小结	163
4.5.7 课后习题	163
4.6 NX 工程图设计	163
4.6.1 工程图纸的创建与编辑	164
4.6.2 视图的建立和编辑	164
4.6.3 视图编辑	167
4.6.4 标注尺寸	170
4.6.5 制图参数设置	171
4.6.6 小结	172
4.6.7 课后习题	172
4.7 NX 装配图设计	173
4.7.1 装配功能简介	173
4.7.2 装配导航器	174
4.7.3 组件的操作	174
4.7.4 自底向上装配	175
4.7.5 自顶向下装配	177
4.7.6 部件间建模	178
4.7.7 小结	179
4.7.8 课后习题	180
参考文献	180
第 5 章 车身建模的基本概念与质量要求	181
5.1 曲线和曲面的质量	181
5.1.1 几何连续性的定义	181
5.1.2 曲线、曲面的次数、段数	185
5.1.3 曲面片的边	187
5.1.4 解析曲面	188
5.1.5 曲面角点角度	188
5.1.6 曲面次数选择	188
5.1.7 曲面自交	188
5.1.8 剪裁曲面的边界曲线	188
5.2 几何体的多重表达	188
5.3 数据交换工作的规范和制度	189
5.4 CAD 模型数据质量检查工具	189
5.5 CAD 模型数据质量检查实例	191
5.5.1 Examine Geometry	191

5.5.2 Check-Mate	192
5.6 我国的 CAD 模型数据质量标准	194
5.6.1 曲线	194
5.6.2 曲面	197
5.7 实体几何	205
5.8 附加要求	205
5.8.1 多重表达	205
5.8.2 接口一致	206
5.8.3 模型的结构	206
5.8.4 工程变更	206
5.8.5 接收方的模型鉴证	206
5.9 车身建模流程的国家标准	206
5.9.1 总体原则	206
5.9.2 总体要求	207
5.9.3 模型工程属性	207
5.9.4 特征的使用	207
5.9.5 草图特征的使用	207
5.9.6 关系式的使用	208
5.9.7 模型着色与渲染	208
5.9.8 DFM 要求	208
参考文献	208
第 6 章 车身制图	210
6.1 图纸幅面及格式	210
6.1.1 车身图纸的幅面	210
6.1.2 车身图纸的图框	211
6.2 车身图纸的字体	212
6.3 尺寸线的终端形式 (箭头)	214
6.4 投影角法	216
6.5 车身制图的基本定义	218
6.5.1 引用标准	218
6.5.2 定义	218
6.5.3 规定	218
参考文献	228

第 1 章 绪 论

1.1 汽车车身 CAD 概述

1.1.1 CAD 简介

计算机辅助设计/计算机辅助制造,简称 CAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing),是以计算机数控技术、计算机图形技术、计算机数据分析技术和计算机网络技术为基础发展起来的。它不是传统设计、制造流程的方法的简单映像,也不是局限于在个别步骤或环节中部分地使用计算机作为工具,而是将计算机科学与工程领域的专业技术以及人的智慧和经验以现代的科学方法为指导结合起来,在设计、制造的全过程中各尽所长,尽可能地利用计算机系统来完成那些重复性高、劳动量大、计算复杂以及单纯靠人工难以完成的工作,辅助而非代替工程技术人员完成整个过程,以获得最佳效果。CAD/CAM 系统以计算机硬件、软件为支持环境,通过各个功能模块(分系统)实现对产品的描述、计算、分析、优化、绘图、工艺规程设计、仿真以及数控加工(NC 加工)。广义的 CAD/CAM 集成系统还包括生产规划、管理、质量控制等方面。

回顾历史, CAD/CAM 软件的开发始于 20 世纪 60 年代中期,是以交互式图形生成技术为基础而建立的应用技术系统,主要解决二维绘图和简单的数控加工。例如,美国 IBM 公司研制的 SMS SLT/MST 设计自动化系统和主要用于二维绘图的 CADAM 系统;美国通用汽车公司为设计汽车车身和外形而开发的 CAD-1 系统等。在自动编程方面,美国航空航天工业协会(Aerospace Industries Association of America)在麻省理工学院协助下,相继开发了 APT 系统、APT II 系统和 APT III 系统。这一时期的 CAD/CAM 系统规模庞大、价格昂贵,仅以二维绘图为主,而且不能实现处理曲面的功能。

到了 20 世纪 70 年代, CAD/CAM 技术日趋成熟,以小型和超级小型计算机为主机的 CAD/CAM 系统进入市场并形成主流,一批专门经营 CAD/CAM 系统硬件和软件的公司相继出现,如 Computer Vision、Intergraph、Calma、Applicon 等。这一时期的 CAD/CAM 系统已经可以实现二维、三维绘图和数控加工,线框、曲面和实体建模,有限元分析等,是一个多数据库和分散数据结构、顺序设计过程的系统。其存在的主要缺点是难以实现系统的真正集成、获取信息受限制、缺乏数据管理功能,三维几何造型技术也处在初级阶段。

工作站的出现再次推动了 CAD/CAM 技术的发展。工作站是以个人计算环境和分布式网络环境为前提的高性能计算机,以工程工作站为基础的 CAD/CAM 系统具有较高的响应速度,其功能已超过了小型机的 CAD/CAM 系统。同时,专门用于车身开发的 CAD/CAM 系统也产生并发展起来,如雷诺公司的 UNISURF 系统和福特公司的 PDGS 系统等。这一时期系统的主要特点是使用单一数据库和统一的数据结构,使系统实现集

成和各分系统间的全关联, 提供了产品数据管理功能, 使用比较方便, 并采用 C 或 C++ 语言编码。但在数据交换技术、工程数据管理系统、产品建模技术和实用智能化的 CAPP 技术方面还刚刚起步。

进入 21 世纪, CAD/CAM 技术更加不断进步和成熟, 并朝着标准化、集成化、智能化、网络化飞速发展, 追求的目标是提高产品质量和生产效率, 缩短设计与制造周期, 降低生产成本, 最大限度地提高制造业的应变能力, 满足用户需求。CAD/CAM 技术的不断成熟并进入实用阶段, 使其发展和应用水平成为了衡量一个国家科技工业现代化的重要标志之一。

普遍意义上讲, CAD/CAM 技术从根本上改变了过去的手工绘图、发图、凭图纸组织整个生产过程的技术管理方式, 将它变为在图形工作站上交互设计、用数据文件发送产品定义, 在统一的数字化产品模型下进行产品的设计打样、分析计算、工艺计划、工艺装备设计、数控加工、质量控制、编印产品维护手册、组织备件订货供应等, 大大提高了效率, 缩短了开发周期。

CAD 是指技术人员利用计算机的高速计算能力和模拟显示图形的能力, 用各自的专业知识对产品进行绘图、分析计算和编写技术文件等设计活动的总称。CAD 建模(造型)是 CAD/CAM 的核心技术和基础, 对 CAD/CAM 的整体技术水平及相关功能的发展至关重要。当今流行的商品化 CAD/CAM 系统主要基于 2D 平面、3D 线框造型以及 3D 曲面造型和参数化实体造型。CAD 建模的理论基础是曲线/曲面造型理论。曲线/曲面的表达方法主要包括贝切尔方法(Bézier)、B-样条(B-Spline), 以及目前广泛采用的 NURBS 方法(Non-Uniform Rational B-Spline)等。当前, 基于 NURBS 的曲线/曲面造型方法, 已逐步成为曲线/曲面建模的标准, 并为大多数 CAD/CAM 软件所采用。

CAM 有广义和狭义之分, 广义 CAM 一般是指利用计算机辅助从毛坯到产品制造过程中的直接和间接的活动, 包括工艺准备(计算机辅助工艺设计、计算机辅助工装设计与制造、NC 自动编程、工时定额和材料定额编制等)、生产作业计划、物料作业计划的运行控制(加工、装配、检测、输送、存储等)、生产控制、质量控制等。狭义 CAM 通常仅指数控程序的编制, 可包括刀具路径的规划、刀具文件的生成、刀具轨迹仿真以及 NC 代码的生成等。狭义 CAM 的基本任务之一, 就是根据被加工零件的外形轮廓尺寸以及精度要求编制出加工程序, 计算出机床的各运动坐标轴的进给指令, 分别驱动各运动坐标轴产生协调运动, 以获取刀具相对于工件的理想运动轨迹。

CAD、CAE(Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程)、CAPP(Computer Aided Processing Planning, 计算机辅助工艺过程规划)、CAM 和 PDM(Product Data Management, 产品数据管理)等组合在一起, 形成 CAD/CAE/CAPP/CAM 系统, 实现 CAD 与下游 CAPP、CAM 等应用系统的信息集成, 使 CIMS(Computer Intergrated Manufacturing System, 计算机集成制造系统)和并行工程具有了广泛的应用前景。

1.1.2 车身 CAD/CAM 的应用与发展

进入 21 世纪, 世界汽车工业的发展面临着 3R 战略的挑战, 即缩短车型投放市场的

时间 (Reduction in time-to-market)、减少开发费用 (Reduction in cost) 和减轻汽车重量 (Reduction in weight)。实施这些战略需要在产品设计、工艺设计和产品制造过程中全面采用计算机辅助技术。随着信息、计算机软硬件、数控加工设备和三坐标测量设备的发展, CAD/CAE/CAM 技术已经广泛地应用于车身零部件及模具开发的各个环节, 包括冲压件产品设计、冲压工艺设计、成形过程仿真、模具零部件的设计、制造、检验和装配等, 使传统的车身设计及覆盖件制造手段发生了重大变化。CAD/CAE/CAM 技术的广泛应用极大地提高了新车型开发的效率。

现代车身开发技术着重强调的是利用先进的计算机技术, 在其强大的运算能力和图形处理能力支撑下, 充分发挥设计者的创造性, 而不像以往拘泥于图纸的图面效果及质量。现代车身开发方法参见图 1-1, 在 CAD 环境下, 设计者依据产品构思, 进行完整的三维设计, 可以从上到下 (Top-Down), 或由底向上 (Bottom-Up) 完成零部件设计, 然后装配并校核。这样不会产生传递误差, 保证了设计质量。

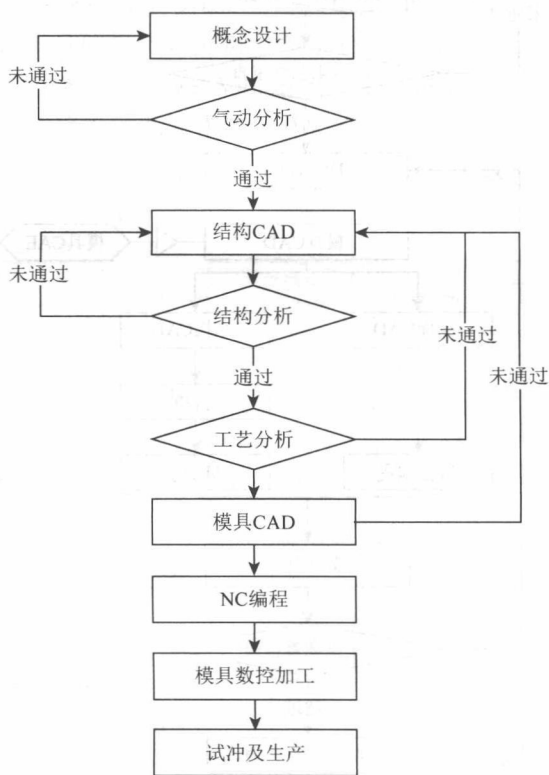


图 1-1 现代车身开发方法

由于采用数字化模型, 人力、物力、财力的节约显然是非常可观的; 设计阶段的计算分析使设计时间缩短 1/3, 也免去了相关样机的制造, 减少了设计和生产准备的交叉度; 冲模冲压的成形性分析提高了冲模设计的成功率, 数控加工也消除了中间数据形式的转换, 并使加工精度大大提高; 在计算机上进行的风洞模拟也节约了大量资金, 缩短了生产周期。

覆盖件模具的质量直接影响着所加工出来的零件的质量。在传统的模具设计与制造

方法中，模具质量严重依赖人为因素，整体水平不易控制；模具加工周期长，重复劳动多；模具最终检验靠多次试冲来完成，返修多，成本高，也延长了生产周期。虽然依靠技术精湛、经验丰富的设计和操作人员，使用简陋的工具，也能快捷制作出一些满足要求的模具，但随着市场的竞争越加激烈，企业要生存发展，就不能仅停留在手工打磨阶段，必须采用先进的设计技术与制造手段。

车身 CAD/CAE/CAM 技术，是车身设计方法与技术发展的一个重要里程碑。随着汽车朝着轻量化、高速、舒适、风格化发展，汽车车身模具一方面要适应新型车身制造材料（如铝合金、非金属材料等），另一方面要向着大型化、复杂化和高精度方向发展。为了更好地与车身生产相结合，模具生产部门除了模具设计制造外，还必须同时搞好开发，协调车身设计、样车制造、工艺设计等各个环节。因此要求企业有较高的整体素质和综合水平。现代模具设计与制造方法参见图 1-2。

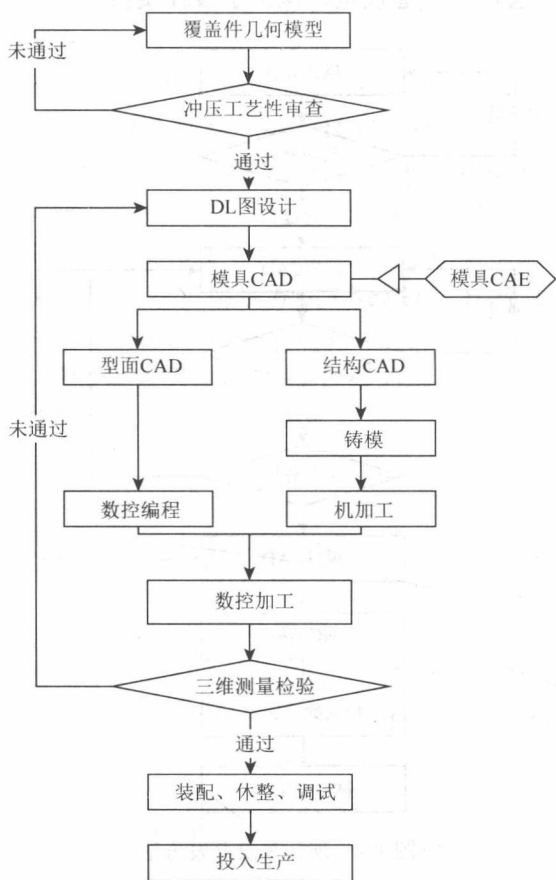


图 1-2 现代模具设计与制造

采用 CAD/CAE/CAM 技术以后，车身的设计与制造体现出非常明显的优越性。

车身 CAD/CAM 技术正朝着集成、并行的方向发展。并行工程是集成地、并行地设计产品及相关过程的系统化方法，这种方法要求产品开发人员从设计一开始就考虑产品生命周期中从概念形成到产品报废处理的各种因素，包括质量、成本、材料、可

靠性、装配、维护、作业调度与用户需求等。并行工程侧重于产品设计过程，强调设计过程中的信息集成、计算机辅助功能的继承，并通过组织多学科产品研发队伍，实现并行作业与协同工作，从而达到缩短产品开发周期，提高产品质量、降低产品成本的目的。

并行工程的核心是一体化设计，此处的设计，不是传统意义上的根据一定的规范，考虑诸多功能要素而进行的绘图工作，而是一种方法，或者说是一种组织形式，它把覆盖件制造的各个环节，如产品设计、型面设计、模具设计、加工编程等都纳入设计的统筹考虑之下，作为一体化设计的组成部分，各部分和各功能组之间分工明确，又协调合作，从而形成一个统一、有机、运转灵活且通畅的整体。

在车身研发中，需要多个部门的人员参与，而且采用多种软件系统。汽车造型设计师在计算机屏幕上进行美术效果图的设计，并生成车身表面的数学模型；然后设计人员进行空气动力学分析（Computational Fluid Dynamics, CFD 分析）及模型修正；由车身结构设计人员进行车身结构 CAD，并利用有限元分析方法进行车身及其零部件的强度、刚度及模态计算分析，车身碰撞仿真分析，制件的冲压成形工艺性分析，NVH 分析（噪声、振动与声振粗糙度分析，Noise、Vibration、Harshness）等；最后进行车身工装的 CAD/CAPP/CAM 以及计算机辅助测量等工作。要进行车身开发的并行工程，必须把不同类型、不同专业的数据以集成化的方式管理，并建立起集成化的产品统一数据类型。车身并行工程框图如图 1-3 所示。

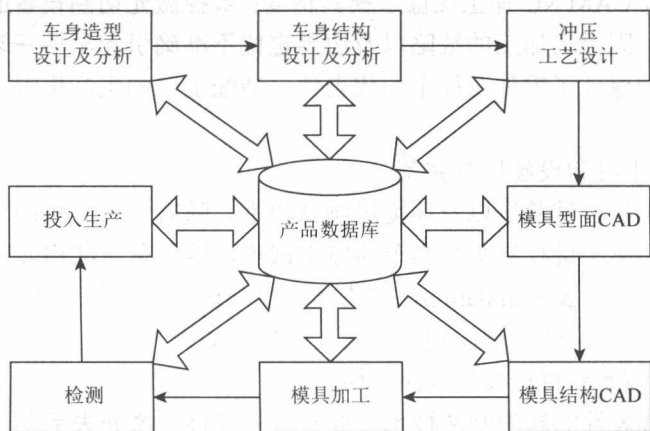


图 1-3 车身并行工程框图

1.1.3 国外车身设计与制造技术应用现状

国外汽车企业在车身开发方面广泛采用最先进的设计制造技术，并进行全新开发和超前开发，开发队伍及其组织机构的管理模式也发生了巨大的变革，使得车身的开发周期越来越短，创新的车型越来越多。总结国外车身设计与制造技术的应用，主要表现在以下几个方面。

1) 现代 CAX 技术及其集成化的全面应用

现代 CAX 技术（CAX 是 CAD、CAM、CAE、CAPP、CIM、CIMS、CAS、CAT、

CAI 等各项技术之综合叫法) 及其集成化在国外汽车企业已经获得了全面应用。应用计算机辅助造型 (Computer-Aided Styling, CAS) 进行二维和三维创意, 并通过动画渲染、全息影像技术使设计直观感觉得以逼真化, 使造型的方案实现多样化, 并提高了造型设计效率与精度。CAD 软件不仅能处理各种图形, 而且兼备丰富的辅助功能, 例如, 其高级表面处理及检测功能以及工业化设计中的 DFM (Design for Manufacturing, 面向制造的设计) 和 DFA (Design for Assembly, 面向装配的设计) 技术都可以大大提高表面设计质量和效率。为配合结构设计进行有限元网格自动划分, CAD 还可与一些通用的有限元结构分析系统接口, 而且每个系统均有比较完整的数据库。CAE (Computer Aided Engineering) 技术在十几年前已经使刚度、强度及 NVH 的分析走向实用化, 为车身设计提供了经过优化的实用的多种选择方案, 使车身设计从经验设计到优化设计跨出了一大步。目前, 碰撞模拟分析、空气动力特性分析、金属板件拉深成形性分析等手段也已步入实用化阶段, 为车身的全面优化设计奠定了基础。CAM 不仅在模具、夹具制造方面得到全面应用, 而且在样车试制阶段发挥了关键性作用, 保证了样车质量与进程。通过 CAS/CAD/CAE/CAM 实现高度集成, 各部门传递的是三维 CAD 图形数据和其他计算机信息, 这种快捷、准确的集成应用使 CAX 技术各单项的应用成果提高了数倍。

2) 样车制造手段日趋先进

易于加工、易于回收的锌合金 (中熔点) 及塑料模具已在样车制造中得到了十分广泛的应用, 并通过 CAMNC 加工保证了模具精度; 数控激光切割设备的使用使样件修边趋于完美, 避免了因手工加工的缺陷以及边界定位不准确引起早期开裂的问题; 三维样件和总成检测控制保证了零件及样车的代表性; 装配工序的生产模拟大大减少了潜在的设计更改。

3) 试验开发手段和设施日益完备

全面采用汽车综合试验场以及环境风洞试验室。随着安全法规的日趋严格, 在装备先进的安全性试验室中进行样车和实车的撞击试验, 用于车身结构疲劳试验的 MTS 试验 (Mechanical Testing & Simulation, 即力学测试与模拟) 也从 6 通道增加到 12~16 通道, 受力输入从每点三轴向增加到四轴向 (模拟制动力)。

4) 新的制造技术和材料技术全面应用

目前, 具有代表性的新的制造技术主要有激光焊接、激光去毛刺、水注法切割、精细等离子体、整体浸锌技术等, 这些技术的应用使制造精度大大提高, 车身各部件缝隙逐步减少, 表面覆盖件和运动覆盖件的缝隙已由过去的 5~8mm 减至 2~4mm, 车身外观越来越精致。新材料的应用方面, 德国奥迪公司在车身板件上 100% 采用了双面镀锌钢板, 开启部件如车门、发动机罩使用 7.5 μm 镀层的钢板, 车身结构件采用 10~12 μm 镀层钢板; 日本汽车厂家则采用了钢厂专门为汽车车身制造推出的高强度钢板, 达到了减轻质量、降低能耗的目的; 性能更加优良的各种改性非金属材料也得以广泛应用, 通用公司的 MPV (多用途汽车, Multi-Purpose Vehicles) 车身结构上就大量采用了塑料材料取代金属构件。

5) 先进的生产管理和质量控制手段

条形码技术的全面应用使同一装配线上的生产品种大幅度增加, 计算机网络技术已

使无库存管理成为可能。全自动化焊接线和激光在线检测（如雪铁龙汽车公司的 ZX 生产线），使车身各部件焊接位置精度和每个焊点质量得以良好地控制，能确认部件与相邻部件关系（平齐度、缝差）的检查工具，确保了制件精度，高度清洁的自动化喷涂线及现代化的表面质量检测装备使车身产品外观完美无瑕。

6) 并行与同步工程开发模式的全面应用

各大汽车公司如通用、福特等纷纷将所属零部件集团独立，一方面是为了促进这些零部件公司成为面向全行业、全球的供应商，另一方面也精简了生产与开发主体，使汽车公司的开发部门可集中力量开发白车身及关键部件，并要求供应商同步或超前开发车身附件。它们规定了作为共同开发供应商的基本条件，包括与本部主体使用相同的开发软件、具备一定的检测试验手段和零缺陷生产能力等，以保证同步开发的成功。并行工程通过在开发过程中合理地交叉工作，如大量预发布信息、预分析、提前生产准备等，实现较短开发周期。交钥匙工程已在业界被广泛采用，为达到这一目的，福特汽车公司采用 SIGN OFF 方式，即在 JOB#1 完成时由负责开发的各方面责任人均签字认可，若之后再出现结构强度或刚度等问题，则由签字人员承担责任；若出现装配工艺问题，则由在样车装配阶段即介入工作的制造人员承担责任。

1.2 汽车车身 CAD/CAM 的基本内容

车身 CAD/CAM 的基本内容包括车身计算机辅助造型即车身 CAS（Computer Aided Styling）、车身结构 CAD、车身模具 CAD 和模具 CAM 四个方面。此外，还包括车身 CAE 仿真分析。在现代车身开发中，CAE 仿真分析自始至终贯穿于设计的整个过程，并且作为产品开发过程中不可缺少的重要环节，在设计质量、寿命、性能和成本等方面发挥着重要的作用。当前，CAE 技术已在车身及其模具开发过程中得到了广泛应用。

1.2.1 车身 CAS

计算机图形学和图像技术的迅速发展突破了人们原有的观念，计算机辅助造型 CAS 进入了汽车造型业。现在，美国、西欧、日本和韩国的许多汽车厂商都已应用 CAS 技术，只是深浅、范围的大小不同。CAS 是以计算机软、硬件技术为依托，造型设计部门在设计过程中凭借计算机参与新产品的造型开发过程的一种新型的现代化设计方式。以德国保时捷汽车公司计算机辅助造型过程为例，CAS 的设计过程如图 1-4 所示。

根据概念设计的指导思想和总布置草图，设计人员直接在计算机终端上进行汽车内外造型二维效果图的绘制，为了能够取得最佳的设计方案，前期必须绘制出多个造型方案（草图、效果图），然后对每个方案进行详细的评审、讨论，最终确定最佳方案进行进一步设计。为了更好地进行效果图的设计，CAS 软件必须提供丰富的颜色调配功能，具有方便的生成或修改自由型曲线的功能，从而使绘制的二维效果图能充分体现出汽车造型的真实感和美感。二维效果图完成后，需要进行汽车内、外表面的数

学建模。首先将三视图导入建模软件中,再根据二维效果图的特征曲线,构造出呈现汽车外部及内饰形状的粗略的线框模型,通过光顺处理,并选择适当的曲面造型方法来构造车身内外表面模型,最后还要赋予模型相应的材质。图 1-5 为某款概念车的草图、二维效果图和数学模型。主体模型完成后,还需建立环境模型,环境模型在设计过程中起着辅助的作用,但对于展示和评价造型方案也是必不可少的。至此便可以将模型方案投影到大屏幕上,生成 1:1 的真实大小状态来对造型方案进行审视评价,从而进行补充、修改和细化,目前最先进的展示技术是“虚拟现实”(Virtual Reality, VR)技术。

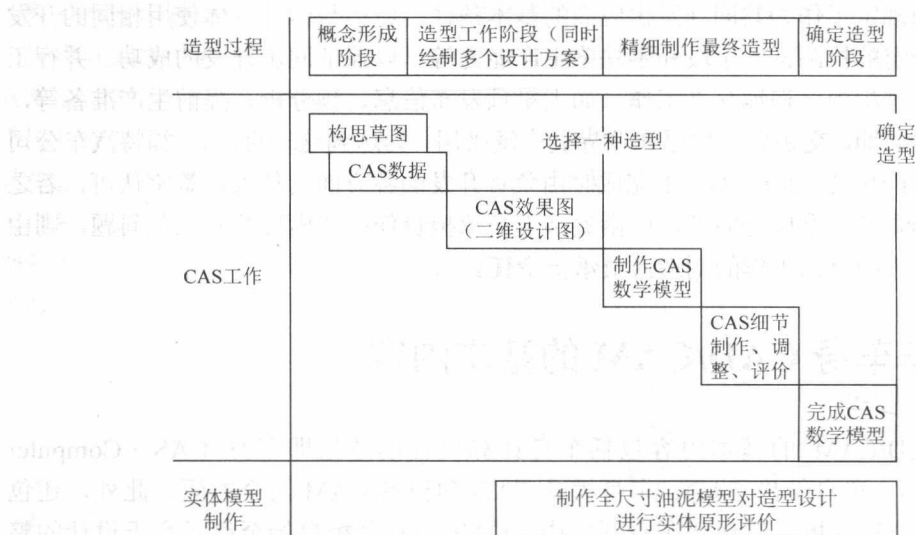


图 1-4 CAS 的设计过程

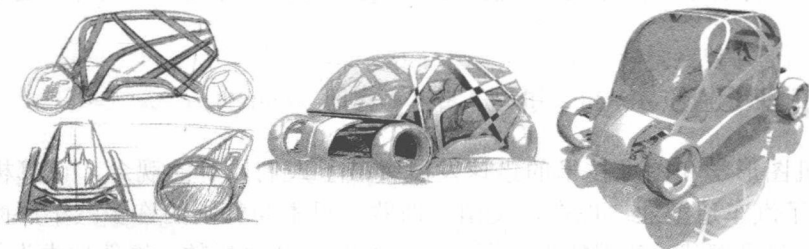


图 1-5 设计草图、二维效果图、数学模型

车身外表面数学模型建立后,可以通过 CFD 分析,同时结合油泥模型的风洞试验,以评价模型的空气动力性能,根据分析及试验对模型进行修改,直至获得满意的结果。最终的油泥模型可通过三坐标测量机测量,测得表面数据,从而对其数学模型进行修改,对该模型进行综合评价后,生成最终的车身表面数学模型。图 1-6 是某款客车外表面数学模型。

现代汽车造型借助于计算机及其软件,并充分利用现代化信息技术,彻底改变了传统造型设计的手段和方法,建立数字化模型更精确、光顺,精度更高,且能在创意完成后第一时间在三维空间中检验、展示、评估造型,节省了部分制作物理模型所用去的时