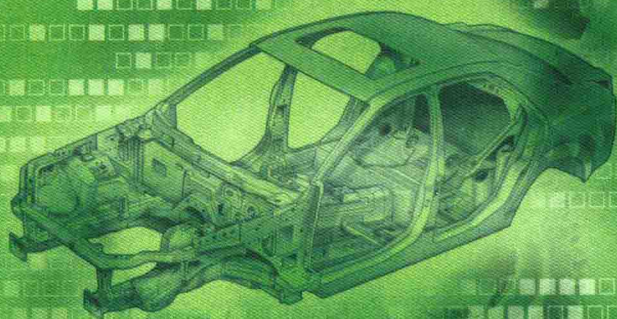


汽车车身 计算机辅助设计

QICHE CHESHEN
JISUANJI FUZHU SHEJI

◎主 编 赵立杰 付 强



汽车车身计算机辅助设计

赵立杰 付 强 主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了汽车车身计算机辅助设计的基本理论和方法。主要内容包括车身计算机辅助设计技术概述、车身 CAD 计算机硬件与软件系统、车身三维建模技术、车身曲线曲面的数学模型基础、车身三坐标测量技术、车身 CAGD 常用功能及其实现、车身逆向工程与车身 CAD 软件应用实例、参数化建模与工程应用实践。本书力求简明扼要、深入浅出,注重理论联系实际。

本书可作为高等院校车辆工程专业、机械设计制造及自动化专业本科生的教学用书,也可作为从事汽车及车身设计制造工程技术人员的参考资料。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

汽车车身计算机辅助设计/赵立杰,付强主编. —北京:北京理工大学出版社,2016.3
ISBN 978-7-5682-1855-9

I. ①汽… II. ①赵… ②付… III. ①汽车-车体-计算机辅助设计 IV. ①U463.820.2-39
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 023437 号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)
(010) 82562903 (教材售后服务热线)
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

开 本/787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张/13.5

字 数/317 千字

版 次/2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷

定 价/44.00 元

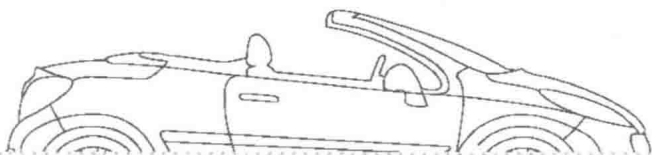
责任编辑/钟 博

文案编辑/钟 博

责任校对/周瑞红

责任印制/马振武

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



前言

P R E F A C E

随着计算机技术的飞速发展和设计任务的日益复杂化,以及大量新技术、新产品的不断涌现,传统的设计工具和设计方法已无法满足现代化设计的要求。计算机已成为当今设计领域的重要组成部分。计算机进入汽车设计制造领域,节省了汽车设计制造人员的大量工作,并有力地促进了汽车车身设计质量和市场竞争力的提高。车身 CAD 技术已经成为汽车车身开发设计过程中的基础性应用技术,是现代汽车车身设计制造工程技术人员必须掌握的基本工具。从某种意义上说,车身 CAD 技术的应用水平代表着一个国家的汽车,尤其是车身开发的水平。车身 CAD 技术的广泛应用,使得车身设计平台化战略和汽车系列化变得比较容易实现。目前,汽车车身 CAD 技术已经成为高等院校车辆工程专业及机械设计制造及自动化专业的一门重要的专业技术课程。

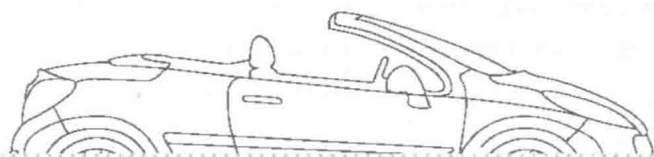
本书系统地介绍了汽车车身计算机辅助设计的基本理论和方法。主要包括车身计算机辅助设计技术概述、车身 CAD 计算机硬件与软件系统、车身三维建模技术、车身曲线曲面的数学模型基础、车身三坐标测量技术、车身 CAGD 常用功能及其实现、车身逆向工程与车身 CAD 软件应用实例、参数化建模与工程应用实践。在编写本书的过程中,我们力求简明扼要、图文并茂、深入浅出。

本书由沈阳航空航天大学赵立杰、付强担任主编。沈阳航空航天大学程勉宏、苗卫东、龚鹏、王文竹、刘刚、荣刚参编。本书由唐永革教授担任主审,他提出了许多宝贵意见,编者对此深表感谢。

在编写本书时,编者参考和引用了已出版的有关书刊的内容,本书后面列出了主要的参考文献。在此,谨对有关作者和编者深表谢意。

由于编者的学识和所掌握的资料有限,书中不足、不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
于沈阳



目 录

C O N T E N T S

第1章 汽车车身计算机辅助设计技术概述	001
1.1 CAD 技术的产生与发展	001
1.2 CAD 技术在汽车工业中的应用	004
1.3 车身 CAD 技术	006
1.4 车身 CAD 技术的研究热点	010
第2章 车身 CAD 计算机硬件与软件系统	014
2.1 计算机硬件系统	014
2.2 计算机软件系统	021
2.3 车身 CAD 系统	029
第3章 车身三维建模技术	031
3.1 线框模型、表面模型和实体模型的建模方法	031
3.2 车身 CAD 的曲面模型与实体模型	043
3.3 车身三维建模实例	046
第4章 车身曲线曲面的数学模型基础	058
4.1 曲线曲面的矢量方程与参数方程	058
4.2 参数样条曲线及孔斯曲面	067
4.3 贝齐尔曲线与曲面	073
4.4 均匀 B 样条曲线	082
4.5 非均匀 B 样条曲线	093
4.6 双三次 B 样条曲面	098
4.7 非均匀有理 B 样条 (NURBS) 曲线曲面	102
第5章 车身三坐标测量技术	113
5.1 三坐标测量机的作用与类型	114
5.2 接触式三坐标测量机	115
5.3 非接触式三坐标测量机	123
5.4 测量点的数据处理	127
5.5 三坐标测量机在车身 CAD 中的应用	130

第 6 章 车身 CAGD 中的常用功能及其实现	137
6.1 车身外形曲线曲面的构造	137
6.2 车身曲线曲面的拼接和过渡	140
6.3 三角域曲面的生成	142
6.4 求法向等距曲面	143
6.5 车身截面外形计算	144
6.6 车身上任意特征线的生成	146
6.7 车身曲线曲面的追加造型	148
6.8 车身曲线曲面的光顺处理	150
第 7 章 车身逆向工程与车身 CAD 软件应用实例	158
7.1 车身逆向工程	158
7.2 基于车身 CAD 软件的逆向工程应用实例	164
第 8 章 参数化建模与工程应用实践	182
8.1 CAD 模型参数化建模简介	182
8.2 CAD 模型参数化建模方法	185
8.3 参数化建模在商业 CAD 软件中的应用	187
8.4 基于 CATIA 的参数化建模实例	195
附录	205
附录 A “追赶法”及其源程序	205
附录 B “差分法”及其源程序	207
参考文献	209

第 1 章

汽车车身计算机辅助设计技术概述

1.1 CAD 技术的产生与发展

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 技术是电子信息技术的一个重要组成部分。它是利用计算机、外围设备及其系统软件辅助人们对产品或工程进行设计的方法与技术,包括设计、绘图、工程分析与文档制作等设计活动。它是综合了计算机科学与工程设计方法的最新发展而形成的一门新兴学科。从广义上讲,CAD 技术包括二维工程绘图、三维几何设计、有限元分析 (FEA)、数控加工编程 (NCP)、仿真模拟、产品数据管理、网络数据库以及上述技术 (CAD/CAE/CAM) 的集成技术等。如今,CAD 技术已广泛应用于机械、电子、航空、汽车、建筑以及环境工程等领域。

1.1.1 CAD 技术的发展阶段

从 1946 年在美国诞生了第一台计算机以来,CAD 技术经历了 5 个主要发展阶段。

1. 准备和酝酿时期 (20 世纪 50—60 年代初)

美国麻省理工学院 (MIT) 于 1950 年在它研制的“旋风”计算机上采用了用阴极射线管 (CRT) 做成的图形终端,并能被动地显示图形。其后出现了光笔,开始了交互式计算机图形学等早期的理论及应用研究。20 世纪 50 年代中期,计算机已应用于工程和产品设计的分析。此时的 CAD 技术处于被动式的图形处理阶段。

2. 蓬勃发展和进入应用时期 (20 世纪 60 年代)

1962 年,麻省理工学院的研究生 I. E. Sutherland 发表了“人机对话图形通信系统”的论文,推出了 Sketchpad 的系统,该系统允许设计者在图形显示前操作光笔和键盘进行交互式图形设计与修改。其后,计算机图形学、交互技术、分层存储符号的数据结构等新思想和新方法先后在 CAD 方面得到了应用,从而为 CAD 技术的发展和应用打下了理论基础。1964 年,美国通用汽车公司推出了 DAC-1 系统。1965 年,洛克希德飞机公司推出了 CADAM 系统,这标志着专业 CAD 软件开始步入实用阶段。

3. 广泛使用时期 (20 世纪 70 年代)

1970 年,美国 Applicon 公司第一个推出完整的 CAD 系统。计算机交互图形技术和三维几何造型技术的发展为 CAD 的发展铺平了道路。基于大型机的商用 CAD/CAM 系统开始上

市,同时出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统,基于小型机的所谓交钥匙系统 (Turnkey System) 开始向中小型企业扩展。

4. 突飞猛进时期 (20 世纪 80 年代)

随着超级微型机和 32 位字长的工程工作站迅速占领市场,各 CAD 厂商将原来基于大型机和小型机的 CAD/CAM 系统纷纷向新的硬件平台移植或重新开发。CAD/CAM 技术从大中型企业向小企业扩展,从发达国家向发展中国家扩展,从用于产品设计向用于工程设计和工艺设计发展。该阶段 CAD 系统的特点是:几何造型技术已经成熟,并成为 CAD 系统的核心;系统具有统一的数据结构和内部数据库;系统有较好的集成性;特征建模及二、三维参数化设计系统开始出现,从二维绘图发展为三维建模,实现了 CAD/CAE/CAM 的集成。

5. 开放式、标准化、集成化和智能化的发展时期 (20 世纪 90 年代以后)

进入 20 世纪 90 年代以来,随着计算机的硬件及软件环境的飞速发展,CAD 系统也在全球范围内得到了普及,出现了很多新的计算机辅助设计理论、方法和技术;大型专业软件各自采用了参数化设计、变量化设计、逆向工程、超变量化设计、并行设计等新的设计方法,软件的功能性、集成性、智能性、网络性有了很大提高。由于微机加 Windows 98/NT/XP 操作系统与工作站加 Unix 操作系统在以太网的环境下构成了 CAD 系统的主流工作平台,因此现在的 CAD 技术和系统都具有良好的开放性,图形接口、图形功能日趋标准化。

1.1.2 CAD 的发展趋势

从 CAD 软件发展的角度看,CAD 系统有如下发展趋势。

1. 集成化

为适应设计与制造自动化的要求,特别是近年来出现的计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 和并行工程 (Concurrent Engineering, CE) 的要求,进一步提高集成化水平是 CAD 系统发展的一个重要方向。集成的含义有多种,一般指功能集成、信息集成、过程集成及动态联盟中企业的集成。此处所说的集成是指信息集成。CAD 技术必须在以下几个方面提高集成水平:

(1) 数字化产品建模。必须提供针对产品全生命周期的统一的产品模型,该模型应该符合某种标准或者规范,其内容应包括产品结构形状、设计过程以及所用知识;在建模技术上,应该能提供性能优良的特征建模、参数化设计、变量化设计、超变量化设计等方法。

(2) 产品数据交换。除了提供按目前已有的交换规范或者标准所开发的中性交换文件及其接口 (如 DXF、IGES、STEP、STL、SAT、VDA) 外,还应具备各种外部专用接口,以便与其他软硬件系统连接起来,需要发展新的交换思想和规范。

(3) 产品数据管理。CAD 系统必须有自己统一的数据库及其管理系统,该数据库的结构要以产品信息模型为基础,使 CAD/CAE/CAM 系统内的各模块都用这个统一的数据库进行信息存取。应继续改进与提高产品数据管理 (Product Data Management, PDM) 软件的性能,有效管理与产品相关的所有数据以及与产品相关的所有过程。

(4) 系统内部应该包括更多的功能和更完善的 CAx 及 DFx 应用软件,如 CAM (Computer Aided Manufacturing)、CAE (Computer Aided Engineering)、CAPP (Computer Aided Production Planning)、DFM (Design For Manufacturing)、DFA (Design For Assembly)、

DFR (Design For Reliability), 并使它们有机地集成起来。

2. 网络化

因特网及 Web 技术的发展, 迅速将设计工作推向网络协同的模式, 因此, CAD 技术必须在以下几个方面提高水平:

(1) 能够提供基于因特网的、完善的协同设计环境。该环境具有电子会议、协同编辑、共享电子白板、图形和文字的浏览与批注、异构 CAD 和 PDM 软件的数据集成等功能, 使用户能够进行协同设计。

(2) 提供多种网上 CAD 应用服务, 例如设计任务规划、设计冲突检测与消解、网上虚拟装配等。

3. 智能化

现有的 CAD 技术在机械设计中只能完成数值型的工作, 包括计算、分析与绘图。然而在设计活动中存在另一类符号推理型工作, 包括方案构思与拟定、最佳方案选择、结构设计、评价、决策以及参数选择等。这些工作依赖于一定的知识模型, 采用符号推理的方法才能得到圆满解决。因此将人工智能技术, 特别是专家系统技术, 与传统 CAD 技术结合起来, 形成智能化 CAD 系统是机械 CAD 发展的必然趋势。以下几个问题应被给予更多关注:

(1) 发展新的设计理论与方法, 例如并行设计理论、大规模定制设计理论、概念设计理论、创新设计理论等。它们都是当前研究的热点。只有在新的理论指导下才可能建立新一代的智能 CAD 系统, 才能解决目前还不能有效解决的方案设计、创新设计等问题。

(2) 继续深入研究机械设计型专家系统的一些基本理论与技术问题, 例如设计知识模型的表示与建模、知识利用中的各种搜索与推理方法、知识获取、工具系统的技术等。

4. 标准化

随着 CAD 技术的发展, 工业标准化问题越来越显示出其重要性。迄今人们已制定了不少标准, 例如面向图形设备的标准 CGI, 面向用户的图形标准 GKS 和 PHIGS, 面向不同 CAD 系统的数据交换标准 IGES、STEP 和窗口标准等, 此外还有《CAD 文件管理》《CAD 电子文件应用光盘存储归档与档案管理要求》等标准。

5. 并行工程

并行工程是随着 CAD、CIMS 技术的发展而被提出的一种新的系统工程方法。这种方法的思路, 就是并行地、集成地设计产品及其开发的过程。它要求产品开发人员在设计阶段就考虑产品整个生命周期的所有要求, 包括质量、成本、进度、用户要求等, 以便更大限度地提高产品开发效率及一次成功率。并行工程的关键是用并行设计方法代替串行设计方法。在串行设计方法中, 信息流向是单向的, 而在并行设计方法中, 信息流向是双向的。

在并行工程运行模式下, 每个设计者可以像在传统的 CAD 工作站上一样进行自己的设计工作。借助于适当的通信工具, 在公共数据库、知识库的支持下, 设计者之间可以相互通信, 根据目标要求既可随时应其他设计人员的要求修改自己的设计, 也可要求其他设计人员响应自己的要求。通过协调机制, 群体设计小组的多种设计工作可以并行协调进行。

1.1.3 计算机辅助几何设计

计算机辅助几何设计 (Computer Aided Geometric Design, CAGD) 这一术语是 1974 年由

巴恩希尔 (Barnhill) 与里森费尔德 (Riesenfeld) 在美国犹他大学的一次国际会议上提出的, 用以描述计算机辅助设计数学方面的内容。计算机辅助几何设计主要研究工程中的几何造型问题, 是对各种几何外形信息的计算机表示、分析和综合。

在 20 世纪 60 年代, CAGD 主要研究用线框图形和多边形构成三维形体。在 20 世纪 70 年代, 几何造型采用多截面视图、特征纬线的方式来近似表达所设计的自由曲面。贝齐尔方法的出现, 使人们用计算机处理曲线及曲面问题变得可行, 从而导致了以表面模型为特点的三维曲面造型系统 CATIA 的出现。有了表面模型, CAM 的问题就可以得到基本解决。曲面造型技术是 CAD 技术的第一次创新。在 20 世纪 70 年代末 80 年代初, 出现了以 SDRC 公司的 IDEAS 软件为代表的, 能够精确表达零部件的全部属性的实体造型技术。实体造型技术的普及应用标志着 CAD 发展史上的第二次技术创新。进入 20 世纪 80 年代, 以基于特征的设计、全尺寸约束、全数据相关、存储驱动设计修改为特征的参数化设计成为第三次 CAD 技术创新的标志, 尤以 PTC 公司的 Pro/ENGINEER 软件为代表。在 20 世纪 90 年代, 一种更加先进的实体造型技术——变量化技术成为新的发展方向, 同时, 变量化技术推动了 CAD 发展的第四次技术创新。

汽车等产品的几何外形设计的核心问题是建立产品几何外形的数学模型, 并通过计算机对其进行描述、控制和编辑。就数学方法而言, 早年的解析几何、微分几何所表达的规则曲线曲面已经不能满足要求。在 20 世纪 70 年代出现的计算几何学, 是由函数逼近论、微分几何、代数几何、计算数学、数控技术、计算机图形学等组成的边缘学科。计算几何学提供了自由曲线曲面造型的数学方法, 是 CAGD 的主要数学理论。

CAGD 的应用日趋广泛, 特别在汽车、航空、船舶等工业部门的几何外形设计领域中, 经过 30 年的发展, 理论研究不断深化, 方法日益丰富, 应用更加广泛。除了应用于机械零部件的设计外, CAGD 在其他许多技术领域都有广泛的应用, 例如人体造型 (耳廓等)、人体器官 (脑、心脏、胃等) X 光断层扫描立体图形重建、导弹地形匹配、飞机模拟训练、石油勘探地层结构图建模、建筑外观设计、电器造型设计、鞋帽外形设计、动画片和艺术造型设计等。



1.2 CAD 技术在汽车工业中的应用

汽车工业作为最大的民用产业, 有技术密集性高、设计要求高等特点, 尤其适合 CAD 系统优势的发挥, 所以 CAD 一开始就在汽车工业中得到了应用。

1964 年, 美国通用汽车公司宣布了 DAC-1 系统的诞生, 这是最早的 CAD 系统软件之一, 是 CAD 技术步入实用的重要标志。在 20 世纪 60 年代出现的三维 CAD 系统只是极为简单的线框式系统。这种初期的线框造型系统只能表达基本的几何信息, 不能有效表达几何数据间的拓扑关系。CAD 系统的功能主要集中在辅助绘图和有限元分析计算等方面。

20 世纪 70 年代, 正是飞机和汽车工业的蓬勃发展的时期, 此时人们在汽车及飞机制造中遇到了大量的自由曲面问题, 要求更新设计手段的呼声越来越高。法国的达索飞机制造公司率先推出了三维曲面造型系统 CATIA。它的出现, 标志着计算机辅助设计技术从单纯模仿工程图纸的三视图模式中解放出来, 首次实现以计算机完整描述产品零件的主要信息, 同时也使得 CAM 技术的开发有了现实的基础。曲面造型系统 CATIA 为人类带来了第一次 CAD

技术革命,改变了以往只能借助油泥模型来近似表达曲面的落后的工作方式。曲面造型系统的技术革新使汽车开发手段比旧的模式有了质的飞跃,新车型的开发速度也大幅度提高,许多车型的开发周期由原来的6年缩短到3年。CAD技术给使用者带来了巨大的好处及颇丰的收益,于是汽车工业开始大量采用CAD技术。

20世纪70年代,软件的商品化程度低,开发者本身就是CAD大用户,彼此之间对技术保密。只有少数几家受到国家财政支持的军火商,在20世纪70年代冷战时期才有条件独立开发或依托某个厂商发展CAD技术。例如:CADAM由美国洛克希德(Lochheed)公司支持;CALMA由美国通用电气(GE)公司开发;CV由美国波音(Boeing)公司支持;IDEAS由美国国家航空及宇航局(NASA)支持;UG由美国MD公司开发;CATIA由法国达索(Dassault)公司开发。与此同时,汽车业的巨人也开始开发自己的CAD系统,如大众汽车公司的SURF、福特汽车公司的PDGS、雷诺汽车公司的EUCLID;另外,丰田、通用汽车公司等也都开发了自己的CAD系统。

20世纪80年代初,CAE、CAM技术开始有了较大发展,但CAD系统的价格依然令一般企业望而却步,这使得CAD技术无法拥有更广阔的市场。为使自己的产品更具特色,以CV、SDRC、UG为代表的系统开始朝各自的发展方向前进。20世纪70年代末到80年代初,SDRC公司在当时星球大战计划的背景下,由美国宇航局支持,开发出了许多专用分析模块,以降低巨大的太空实验费用,同时在CAD技术领域也进行了许多开拓;UG则着重在曲面技术的基础上发展CAM技术,以满足零部件的加工需求。CAD技术在汽车工业中得到了广泛的应用。

有了表面模型,CAM的问题可以基本解决。但由于表面模型技术只能表达形体的表面信息,难以准确表达零件的其他特性,如质量、重心、惯性矩等,对CAE的应用十分不利,最大的问题在于分析的前处理特别困难。基于对于CAD/CAE一体化技术发展的探索,SDRC公司于1979年发布了世界上第一个完全基于实体造型技术的大型CAD/CAE软件——IDEAS。可以说,实体造型技术的普及应用标志着CAD发展史上的第二次技术革命,因此,它迅速在汽车工业中得到应用。

但是,实体造型技术既带来了算法的改进和未来发展的希望,也带来了数据计算量的极度膨胀,因此以CV公司为代表的软件厂商转去攻克相对容易实现的表面模型技术。CV公司最先在曲面算法上取得突破,计算速度提高较大。

20世纪80年代中期,出现了以Pro/Enginner为代表的参数化实体造型方法。进入20世纪90年代,参数化技术变得成熟起来,充分体现出其在许多通用件、零部件设计上存在的简便易行的优势。PTC与CATIA、IDEAS、CV、UG等大型CAD软件在汽车制造业中都有了更广泛的应用。

SDRC于1993年推出全新体系结构的IDEAS Master Series软件,并就此形成了一整套独特的变量化造型理论及软件开发方法。变量化技术既保持了参数化技术原有的优点,同时又克服了它的许多不利之处。它的成功应用,为CAD技术的发展提供了更大的空间和机遇。

进入21世纪,CAD技术已成为汽车设计的主要方法和手段。CAD技术在汽车工业中的应用已基本普及,但与汽车工业发达国家相比还有差距,我国汽车设计的CAD应用水平还很不平衡。我国当前CAD技术的应用情况,大致可分为以下4个层次:基于计算机绘图、产品三维几何设计的应用层次;基于计算机辅助工程分析进行产品性能设计的应用层次;基

于产品数据管理（PDM）的应用层次；基于企业信息化平台的应用层次。CAD 技术应用水平的提高对汽车工业的发展具有极其重大的意义。

1.3 车身 CAD 技术

1.3.1 车身 CAD 的发展历史

在汽车制造领域，为了保持产品的竞争能力，符合安全、环保、节能三大主题，及满足用户对汽车舒适性和外形多样化方面的更高的要求，各汽车制造公司在产品的设计制造上都已采用 CAD/CAM/CAE 一体化技术。

最早采用汽车车身 CAD 技术的例子是通用汽车公司于 20 世纪 60 年代用 DAC-1 系统来设计汽车前挡风玻璃的型线。在 20 世纪 70 年代，通用汽车公司的 CADANCE、FBX 等系统先后研制完成并进入应用阶段。这一时期的特点是软件都是企业内部开发，应用范围也局限于汽车外形的处理。20 世纪 80 年代软件则由外形处理发展到结构分析、设计计算、内部构件、发动机设计等方面。

美国福特汽车公司从 1967 年开始开发使用 CAD 软件。到 20 世纪 80 年代，福特公司的汽车 CAD 技术的应用遍及各种类型的零部件的设计，并在汽车底盘的设计分析中使用有限元方法（Finite Element Method, FEM），公司已经可以实现 100% 应用计算机辅助设计来绘制车身外表面钣金件，其 CAD 软件还可以进行结构分析和振动仿真等。

法国雷诺汽车公司的工程师贝齐尔运用他的理论实现了车身曲面的定义，并研制出 UNISURF 系统。1974 年，他利用该系统在 5 个星期内，完成了从“蒙皮”的全尺寸粗糙图形到做出最后的图形及全尺寸塑料模的全部工作。

20 世纪 80 年代初，日本各大汽车公司的 CAD 系统已经基本完善，如五十铃公司的车身 CAD 系统已具备了绘制自由曲线曲面、光顺处理、透视、断面展开、图形旋转及平移、复制等功能。

进入 20 世纪 90 年代，汽车车身 CAD 技术已经广泛应用于世界各大汽车公司。目前，诸如 Dassault 的 CATIA、UGS 的 NX、PTC 的 Pro/ENGINEER、Autodesk 的 AutoCAD 等商业化的三维和二维 CAD 软件，已经广泛应用于国内外不同规模的汽车设计和制造公司。可以说，今天的汽车开发已经离不开 CAD 技术。

我国的 CAD 技术应用于汽车行业开始于 20 世纪 70 年代，在解决汽车设计中的刚度强度计算、试验数据处理等问题方面取得了很多成果。由于计算机硬件、软件的发展和对外交流，20 世纪 80 年代开始我国逐步引进了国外先进的计算机绘图设备和软件，从此我国的 CAD 技术有了较快的发展。尤其是 20 世纪 90 年代以来，我国的汽车工业迅速发展，与国外的联系越来越紧密，这带动了我国的汽车车身 CAD 技术的快速发展。目前，国内各大汽车公司已经普遍应用大型三维 CAD 软件，CAD 技术的应用水平已经能够满足汽车设计的要求。

1.3.2 现代车身开发流程

图 1-1 所示是汽车车身的开发流程框图。汽车车身设计通常分为概念设计（Concept

Design) 和工程设计 (Engineering Design) 两个阶段来进行。

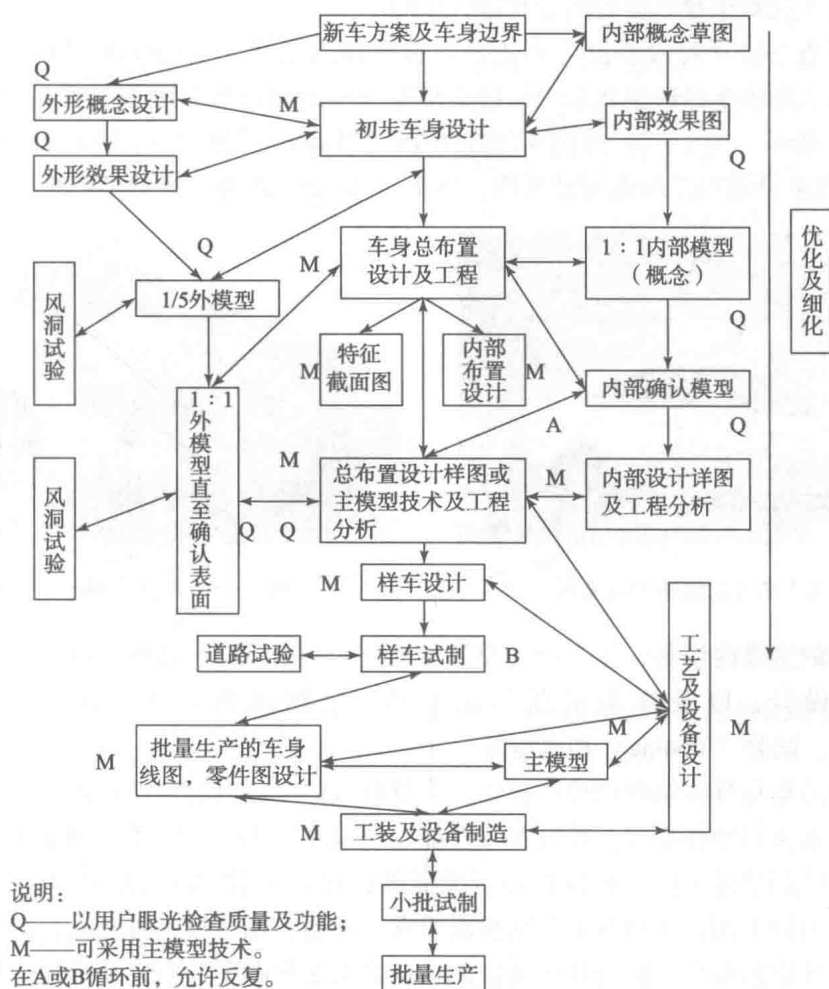


图 1-1 汽车车身的开发流程框图

概念设计属于产品设计的前期工作,是指从产品构思到确定产品设计性能指标,以及布置定型和造型的确定,并下达产品设计任务书这一阶段的设计工作。概念设计在轿车车身设计中占有极其重要的地位。它是对未投产新车型的总体概念的概括描述,是确定汽车性能、外形与内饰等主要方面的初步设计。在现代设计方法中,概念设计阶段要广泛吸收造型师、结构工程师、工艺工程师、财务分析管理人员、部件采购人员、市场分析专家和销售员同时参与设计工作,而计算机辅助概念设计是其主要的技术手段。概念设计的主要内容有:产品开发目的、必要性和可行性分析、产品的性能目标和先进性分析、产品的造型设计、布置和尺寸要求、产品的使用调查、产品的目标成本分析、产品设计任务书的确定、产品开发的组织管理等。

在概念设计阶段,造型设计人员进行车身外形的构思,并绘制外形设计概念图,以提供外形设计方案,同时确定车身造型的基本思想和进行车身 CAD 几何建模。造型设计人员要构思多种外形方案,以供选择、比较,并与布置工程师、结构工程师和工艺工程师等一起确定最终的几何模型。概念设计阶段的油泥模型可用于美学和空气动力学的评价。油泥模型比

平面效果图更能直观地反映设计人员的意图,并可进行风洞试验,以初步认识车身外形的空气动力学性能,这对车身外形的确定有很大作用。

现代车身造型设计阶段广泛应用的是计算机辅助造型 (Computer Aided Styling, CAS) 技术,无论是二维的车身造型效果图,还是车身三维造型都大量应用计算机辅助造型软件,如 Photoshop、Rhino、Alias 等,但手绘构思草图 (Sketch) 仍然是造型设计人员的重要基本功。图 1-2 所示是车身二维造型效果图,图 1-3 所示是车身三维造型效果图。



图 1-2 车身二维造型效果图



图 1-3 车身三维造型效果图

工程设计的主要内容是,在车身(总)布置(Layout)的配合下,进行1:1内部模型和外部模型的设计,以及样车试制与试验等,包括结构设计(Design)、工程分析(Engineering)、试验(Testing)和试制等。

车身布置是车身体具体结构设计的基础。车身布置的主要内容包括:确定车身内部、外部的尺寸;确定乘坐与操作空间;校核各项性能及法规要求的尺寸数据,如风窗的刮扫面积、视野性,座椅的调整量、仪表板的防炫目性能等;确定车身的悬置形式及位置;确定发动机、传动系占用的空间,并对有关总成提出要求;备胎、燃料箱,蓄电池、行李舱以及各种液罐的布置;确定由车身附件及其他装置的特殊要求引起的车身布置及结构的变动等。

车身的内部模型设计包括:确定室内各部件的位置关系,进行室内色彩设计,并表现各部件的外观形状特征等。车身内部实车模型的制作要在 CAD 内部数学模型的基础上进行,通常采用木质框架,用发泡塑料和油泥制作内饰部件及车内零件,或安装真实的零件,有时也要采用快速原型技术制作零件,并进行内饰装饰设计以加强模型的真实感。同时要利用三维 H 点人体模型实际检验车身的内部布置设计。

车身结构设计包括:建立车身结构件 CAD 模型、绘制零部件图纸、进行零件装配和结构分析、进行车身内饰件和外饰件的设计等。

样车试制是为了进一步明确样车的车身外形尺寸、结构形式、装配关系、材料使用情况、制造工艺性等,同时配合样车的试验。样车试验包括对样车进行结构性能试验、道路试验和撞车安全试验等。

虽然应用车身 CAD 建立了车身数学模型,并可以将其作为车身主模型,但制作车身实物主模型还是有必要的,它可以作为生产检测的实物基准。经过总布置确认之后的主模型可以作为进一步设计的基础。

车身模具设计和制造以及工装设计是汽车批量生产的基础。经过调试工装设备、检验设计和生产的合理性,批量试制、试生产,最终完成批量生产。

现代车身布置和结构设计等都是应用大型三维 CAD/CAM/CAE 一体化的软件完成的,如 CATIA、NX 等。车身的结构分析、模态分析、NVH (Noise、Vibration、Harshness) 分析、碰撞安全性分析等都可以在 CAD 模型的基础上进行。图 1-4 所示是车身外形数学模型,图 1-5 所示是车身结构 FEM 分析模型,图 1-6 所示是车身碰撞安全性分析模型。

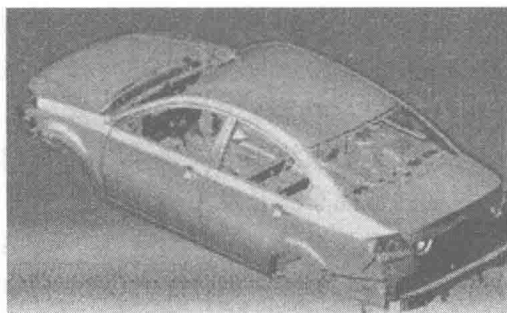


图 1-4 车身外形数学模型

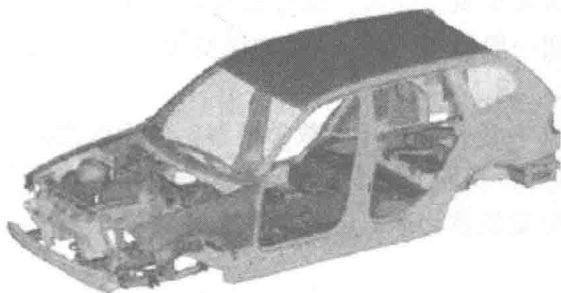


图 1-5 车身结构 FEM 分析模型

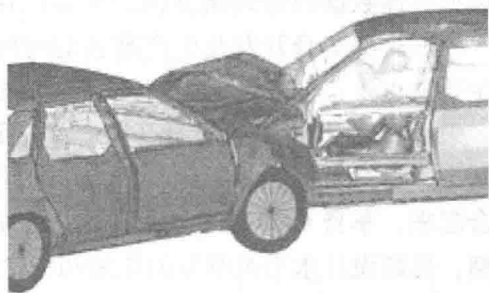


图 1-6 车身碰撞安全性分析模型

由于车身 CAD 技术的广泛应用,车身设计的平台化战略和汽车系列化变得比较容易实现。目前,车身 CAD 技术已经是车身开发过程中的基础性应用技术。

1.3.3 车身 CAD 的特点

计算机辅助设计是在设计活动中,以计算机为工具,帮助工程技术人员进行设计的一切实用技术的总和。计算机辅助设计是人和计算机相结合、各尽所长的新型设计方法。在设计过程中,人们可以进行创造性的思维活动,完成设计方案构思、工作原理拟定等,并将设计思想、设计方法经过综合、分析,转换成计算机可以处理的数学模型和解析这些模型的程序。在程序运行过程中,人们可以评价设计结果,控制设计过程,计算机则可以发挥其分析计算和存储信息的能力,完成信息管理、绘图、模拟、优化和其他数值分析任务。一个好的计算机辅助设计系统既能充分发挥人的创造性作用,又能充分利用计算机的高速分析计算能力,找到人和计算机的最佳结合点。人和计算机结合,在设计过程中两者发挥各自的优势,有利于获得最优设计结果,缩短设计周期。

计算机辅助设计所包含的内容很多,如造型设计、结构设计与分析、优化设计、计算机绘图等。在计算机辅助设计工作中,计算机的任务实质上是进行大量的信息加工、管理和交换,也就是在设计人员的初步构思、判断、决策的基础上,由计算机对数据库中的大量设计资料进行检索,根据设计要求进行计算、分析及优化,将初步设计结果显示在图形显示器上。在 CAD 作业过程中,逻辑判断、科学计算和创造性思维是反复交叉进行的。一个完整的 CAD 系统,应在设计过程中的各个阶段都能发挥作用,而要实现这一点,就必须具备以下 3 个条件:

(1) 建立完备的产品设计数据库。产品设计数据库用来存储设计某类产品所需的各种信息,有关的标准规范、经验曲线、计算公式等都按照数据结构关系存入计算机。数据库可供 CAD 作业时检索或调用,也便于进行数据管理和资源共享。

(2) 建立完备的应用程序库,即将解决某一类工程设计问题的通用及专用设计程序,如通用数学方法计算程序、常规机械设计程序、优化方法程序、有限元计算程序等,汇集备用。

(3) 建立多功能交互图形程序库。利用图形程序库可以进行二维及三维图形的信息处理,能在此基础上绘制工程设计图,建立标准件库、零部件库等图形处理工作。

早期的常规车身开发流程采取顺序方式进行工作,这种方式存在着设计周期过长等问题,不便于车身设计、工艺制造等方面的结合,有些问题要等到试制、试验后才能被发现,而且这种方法更多的是靠经验,设计可信度较低,风险程度大。用早期的常规方式,车身钣金件的数据常常由二维图纸和主模型来确定,因此很难保证两者的一致性。常规车身开发靠主模型传递数据的方式精度低,并难以保证长久不变,而且,设计要反复修改,劳动强度大。完成全部车身开发及生产准备的时间周期一般为3~5年,财物耗费惊人。归纳起来,其主要缺点是:精度差、周期长、劳动强度大、返工多、浪费大等。

采用CAD技术进行车身开发,首先要建立一套完整的车身数学模型,然后以此为基础绘制出车身开发所需的所有图纸,并进行工程分析及加工制造。只有将车身制造与车身设计结合起来,车身CAD技术的重要作用才能充分地发挥出来,才能够明显地缩短车身开发的周期,提高设计水平及制造的质量和精度。

现在国内外汽车公司都充分认识到车身CAD、CAM及CAE一体化应用的优点,这是早期的常规车身开发所无法比拟的,主要表现在如下几个方面:

(1) 可提高设计质量和精度。车身设计的完成,意味着建立了车身结构的完整数学模型,将其存入数据库后,通过计算机数据管理系统实现多点数据共享,可为生产准备、工装设计制造提供方便、详尽、准确的原始依据,从而消除了中间数据形式的转换,使模具的加工精度大大提高,模具修改的工作量大为减小。

(2) 节省时间,提高生产效率,缩短了设计和制造周期。车身结构件的数学模型可以直接用来进行模具设计,因此提高了模具设计的成功率,也提高了模具制造的速度。车身CAD/CAM一体化可显著缩短从设计到制造的周期,与传统的设计方法相比,其设计效率可提高3~5倍。

(3) 大幅度地降低成本。计算机的高速运算和绘图工作,大大降低了劳动强度,同时,优化设计也节省了原材料。在油泥模型、主模型及工艺设备的设计制造等方面,其都使人力、物力、财力大为节约。采用CAD/CAM一体化技术,生产准备时间缩短,产品更新换代加快,大大增强了产品在市场上的竞争能力。

(4) 车身CAD技术将车身设计人员从烦琐的手工计算和绘图工作中解放出来,使其可以从事更多的创造性劳动,减轻了设计者的劳动强度,改善了他们的工作环境和条件。

(5) CAD/CAM一体化技术可以很方便地将车身设计的模型用于强度、刚度、安全等工程分析,还可以比较方便地对模型进行空气动力学模拟分析。这样就使得设计的可信度大为提高。有这样的基础,样车试制与产品定型的时间也会大为缩短。



1.4 车身CAD技术的研究热点

1. 参数化设计和变量化设计

在车身开发的CAD方法中,零件设计模型建立的速度是很重要的。在车身开发过程

中并行工程的引入,使得在车身的概念设计阶段和车身的工程设计阶段就可进行车身结构的工程分析。因此,参数化的车身结构模型将发挥很大的作用。参数化设计方法就是将模型中的定量信息参量化,使之成为可任意调整的参数。参数化设计方法使零件模型具有易于修改的特性,通过对参数赋予不同的数值,就可得到不同大小和形状的零件模型。

参数化模型表达了零件图形的几何约束和工程约束,几何约束包括结构约束和尺寸约束。结构约束是指几何元素之间的拓扑约束关系,如平行、垂直、相切、对称等;尺寸约束则是通过尺寸标注表示的约束,如距离尺寸、角度尺寸、半径尺寸等。工程约束是指尺寸之间的约束关系,通过定义尺寸参数及它们之间在数值上和逻辑上的关系来表示。

在参数化设计系统中,设计人员根据工程关系和几何关系来制定设计要求。参数分为两类:其一为各种尺寸值,称为可变参数;其二为几何元素间的各种连接几何信息,称为不变参数。参数化的本质是在可变参数的作用下,系统能够自动维护所有的不变参数。

参数化设计中的参数化建模方法主要有变量几何法和基于结构生成历程的方法,前者主要用于平面模型的建立,而后者更适合于三维实体和曲面模型。

参数化技术更适合于设计过程比较明确的工作,变量化设计则为设计对象的修改提供了更大的自由度,可以通过求解一组约束方程组来确定产品的尺寸和形状。约束方程驱动可以是几何关系,也可以是工程计算条件。约束结果的修改受约束方程驱动。变量化设计可以应用于公差分析、运动结构分析、设计优化,尤其在概念设计时更方便。变量化技术既保持了参数化技术的原有优点,同时又克服了它的一些不足之处,为CAD技术的发展提供了更大的空间。

参数化设计和变量化设计,使得车身结构设计可以随着尺寸的修改和使用环境的变化而自动修改。现在的主流CAD软件几乎都是基于变量化设计的。

2. 智能 CAD

智能CAD是指通过运用专家系统、人工神经网络等人工智能技术使作业过程具有某种程度的人工智能的CAD系统。

专家系统的基本思想是使计算机的工作过程能尽量模拟该领域专家解决实际问题的过程。专家系统是基于知识的系统,专家系统技术是一种获取、处理和运用知识的技术。知识工程是专家系统技术的基础。专家系统通常由知识库、推理机、知识获取系统、解释机构和一些交互界面组成,如轿车车门附件专家设计系统等。

人工神经网络具有下列特征:包含大量的人工神经元,提供了大量可供调节的变量;信息是分布式存储的,从而提供了联想与全息记忆的能力;具有高度的自适应能力、高度的容错能力、很强的计算能力以及自组织能力。

目前,神经网络和专家系统有联合起来的趋势。基于神经网络的专家系统在知识获取、适应性学习、联想推理、容错能力方面明显优于传统的专家系统。

3. 基于特征的设计

特征设计是用易于识别的、包含加工信息的几何单元,如孔、槽、倒角、加强筋等,来取代以往设计中所用的纯几何描述,如直线段、圆弧等。特征是构造零件的最基本的单元要素。特征使设计人员和工艺人员对同一特征具有相同的理解,并且特征定义包含了所有几何