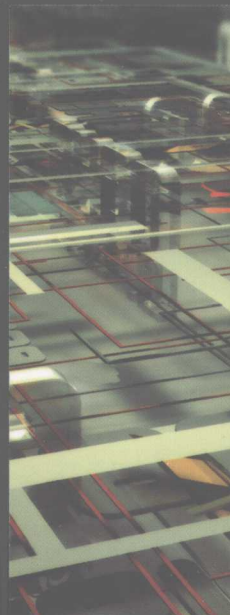
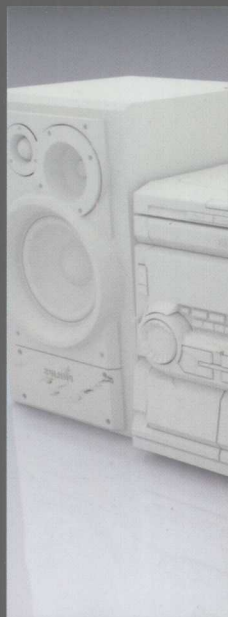




教育科学“十五”国家规划课题研究成果



三维工程制图

——产品三维建模技术与应用

张学忱 陈锦昌 等编著



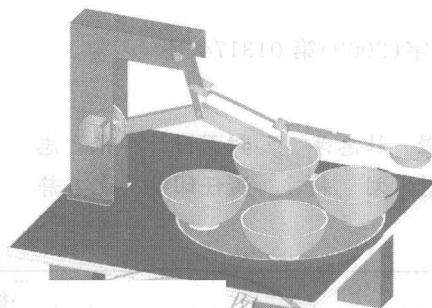
高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

三维工程制图

——产品三维建模技术与应用

张学忱 陈锦昌 等 编著



高等教育出版社

内容提要

本书是教育科学“十五”国家规划课题“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”子项目课题“工程图学课程体系与教学内容的研究与实践”的研究成果,主要讲述产品设计中三维图形的表达,即三维建模理论和三维建模实践。主要内容包括机械设计概述、三维工程制图的理论基础、产品零件建模、产品装配建模、产品装配的可行性验证、产品二维工程图绘制、应用软件的基本知识介绍等,可供学生学完传统工程制图课程后继续学习使用。

本书应用的三维软件是 CATIA V5 R17,读者在使用本书时,应进行上机实践,以收到较好的效果。书后所附光盘收录了书中实例和习题的源文件及部分建模操作录像,可供读者练习和参考。

本书可作为高等工科院校机械类、近机类各专业三维工程制图的教材和建模师培训教材,也可作为从事产品数字化设计的工程技术人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

三维工程制图:产品三维建模技术与应用/张学忱等
编著. —北京:高等教育出版社,2009.3

ISBN 978-7-04-026262-9

I. 三… II. 张… III. 工业产品-计算机辅助设计
IV. TB472-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 013174 号

策划编辑 肖银玲 责任编辑 杜惠萍 封面设计 张 志 责任绘图 尹 莉
版式设计 余 杨 责任校对 刘 莉 责任印制 尤 静

| | | | |
|------|---------------|------|---------------------------|
| 出版发行 | 高等教育出版社 | 购书热线 | 010-58581118 |
| 社 址 | 北京市西城区德外大街4号 | 免费咨询 | 800-810-0598 |
| 邮政编码 | 100120 | 网 址 | http://www.hep.edu.cn |
| 总 机 | 010-58581000 | | http://www.hep.com.cn |
| 经 销 | 蓝色畅想图书发行有限公司 | 网上订购 | http://www.landaco.com |
| 印 刷 | 北京铭成印刷有限公司 | | http://www.landaco.com.cn |
| | | 畅想教育 | http://www.widedu.com |
| 开 本 | 787×1092 1/16 | 版 次 | 2009年3月第1版 |
| 印 张 | 20 | 印 次 | 2009年3月第1次印刷 |
| 字 数 | 490 000 | 定 价 | 28.80元(含光盘) |

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26262-00

序

在产品设计中,利用投影理论进行产品结构的二维图样表达的历史已有二百多年。近年来,随着计算机硬件及三维 CAD 软件的发展,使应用三维设计系统实现产品设计的三维表达成为可能,产品的二维图样表达已不再是产品设计制造中唯一的技术文件形式,产品表达可以是一组二维的工程图样,也可以是一个三维数字化的计算机实体模型。产品的三维实体模型可以旋转、剖切、重现、修改,可以为 CAD/CAE/CAM 等下游的设计制造过程提供信息源,实现数据沟通与共享,同时,三维实体模型也可以转换成二维工程图样。

在工程图学课程中,形体的一组二维图形是产品的主要表达形式。由于三维建模技术和三维软件的迅速发展,产品设计的应用要求工程图学课程在保留二维工程图样表达和标注的基础上,补充产品设计的三维建模与表达的内容,让设计者知道产品基本三维建模的理论和方法,有利于设计者进行产品的结构设计。

由张学忱、陈锦昌等编著的《三维工程制图》正是为适应这样的需求而出版的。本书从工程图学的角度出发,阐述了三维工程制图的基本理论、基本方法,包含了作者多年来在工程图学教学和研究中取得的成果,书中突出了产品设计中的三维表达,图例丰富,过程详尽,可操作性强,可供相关专业学生 and 设计人员在产品设计和图形表达的学习和工作中参考。

中国工程院院士
教育部工程图学教学指导委员会主任
浙江大学求是特聘教授



2008-11-2

前 言

自从有了计算机,机械设计师就梦想着实现产品的三维设计。从20世纪60年代到70年代,计算机开始协助设计师完成复杂的计算和绘制产品的二维工程图样。但是,这种工程图样无法支持产品下游的计算机辅助工程分析(CAE)、计算机辅助制造(CAM),更无法实现计算机集成制造(CIMS)。此时,计算机的作用仅仅是代替了手工计算与绘图,减轻了设计人员的劳动强度,并未实现全面的计算机辅助设计。到了20世纪90年代,基于特征的参数化设计系统问世,设计师的梦想得以实现,使产品的设计与表达有了质的飞跃,从传统的产品设计过程,即三维思想→二维表达→三维加工与装配,改变为三维设计→三维表达→三维CAE、CAM。设计师们再不会因为表达手段的原因而中断设计的思路从而影响产品创新设计的实现。同时,这种设计的优越性在于大大地缩短了产品的设计周期,降低了产品的研制成本。例如:日本丰田汽车公司,在未实现计算机全面辅助设计时,新车型的研制周期大约在三年左右,采用了三维CAD软件进行设计后,新车型的研制周期缩短到一年零八个月。该公司在2002年10月与法国达索系统公司(Dassault Systems)签订CATIA V5全面技术协议后,到2005年5月已有4款新车型利用CATIA V5软件系统研制出来,平均8个月完成一款新车型的设计,并且实现了上百个企业、十几个国家即时的协同作业,过去24小时的工作现在仅需40分钟就可以完成。正是这样高效率的设计环境,使得该设计系统一问世,就立即成了设计师们离不开的工作手段与环境。

今天,基于三维的产品设计的社会需求对传统的基于二维工程图样表达形体的工程图学课程提出了新的要求:如何在工程图学课程中建立以产品的三维设计表达为主,兼有二维工程图样表达的内容体系,如何在三维设计平台上进行产品的设计与表达。针对这一需求,作者编著了本书,目的在于构建一个突出从三维建模理论到三维建模实践,使产品的设计表达在保留二维表达与标注的基础上,转向产品的三维设计与表达的课程体系。这是一本由产品模型的三维表达与二维工程图样表达两种表达形式构成的、有特色的实用教材。

本书主要研究的是机械工程领域中产品设计思想三维图形表达的问题,目的是能够根据产品的设计构思过程或制造过程来表达产品的设计内容,建立产品的三维数字化模型(简称三维模型),为后续的有限元分析、数控编程、模拟与仿真等设计活动提供可行的信息源,使得CAD\CAE\CAM的信息集成,乃至企业信息化中更大范围的信息集成成为可能。

本书是在作者近年来进行三维工程制图的教学研究和教学实践经验的基础上编写而成的。本书包括机械设计概述、三维工程制图的理论基础、产品零件建模、产品装配建模、产品装配的可行性验证、产品二维工程图绘制、附录等,其中附录主要介绍应用软件的基本知识,在学习产品的零件建模之前必须先学习附录中的内容。书后附有光盘,收录了书中的实例和习题的源文件及部分建模操作录像,可供读者练习和参考。

本书可作为高等学校机械类、近机类各专业学完传统的工程制图课程后学习三维工程制图的教材和建模师培训教材,也可作为在技术培训、继续教育中进行产品的三维表达和二维表达等相关课程选用,也可供从事数字化产品设计的工程技术人员的技术参考书。

本书由张学忱、陈锦昌任主编,参加编写工作的有华南理工大学陈锦昌,吉林大学冯增铭,长春理工大学张学忱、张冬梅、王伟冰、孟宪羽、李玉菊、张宝庆、薛珊、赵峻彦、杨丽婕、李俊焯、高伟,法国达索系统公司的中国代理——迅利科技有限公司张涛。本书的第1、2章由陈锦昌编写;绪论、第3、4章由张学忱编写;第5章由张学忱、孟宪羽编写;第6章由王伟冰编写;附录由张冬梅、张学忱编写;其他教师负责素材整理、图形处理、书稿校对等工作。

在本书的编写过程中,清华大学童秉枢教授给予了很多具体的指导和帮助,并认真审阅了全书,提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心感谢!

在本书的编写中,得到了浙江大学单岩、蔡娥,吉林大学侯洪生、李苏红、孟祥宝,长春大学刘晓杰的帮助;得到了法国达索系统公司的中国代理——长春迅利科技有限公司张慧波、黄诚、孔宪臣、何勇的技术支持;得到了长春理工大学教务处李启海、机电学院王淑坤、宋林森的帮助;得到了长春理工大学研究生刘张齐、田梅、骆浩、李艳明、石广丰、史云龙、陈华平、周鹏、李菁菁和本科生刘伟、刘海飞、刁祥、朱波、徐杰、张启辉、尉凤川、张月峰、于志伟、朱靖、李绪鹏的帮助。在此,向他们表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

本书完稿于2008年的教师节前夕。在此,谨以此书献给那些勤勤恳恳、爱岗敬业、富有爱心与责任感和甘于奉献的老师们!

编著者

2008.9

目 录

| | | | |
|------------------------------|----|----------------------------------|-----|
| 绪论 | 1 | 3.2.2 特征转换 | 40 |
| 第1章 机械设计概述 | 3 | 3.2.3 修饰特征 | 42 |
| 1.1 机械设计概述 | 3 | 3.2.4 特征组合(布尔 操作) | 56 |
| 1.2 常规机械设计方法 | 5 | 3.3 草图设计 | 69 |
| 1.3 计算机辅助机械设计 | 6 | 3.3.1 图形约束 | 69 |
| 1.4 计算机辅助机械设计的发展 方向 | 7 | 3.3.2 草图设计 | 70 |
| 思考与练习题 | 9 | 3.3.3 规划草图 | 70 |
| 第2章 三维工程制图的理论基础 | 10 | 3.3.4 草图设计的流程 | 72 |
| 2.1 数字化产品模型概述 | 10 | 3.4 参数化设计 | 75 |
| 2.2 几何建模技术 | 12 | 3.4.1 先建模后参数的参数化 设计 | 76 |
| 2.2.1 几何建模概念 | 12 | 3.4.2 先参数后建模的参数化 设计 | 82 |
| 2.2.2 几何建模技术的 发展 | 13 | 3.5 模型组织 | 124 |
| 2.2.3 几何建模的基本 知识 | 14 | 3.5.1 特征树组织 | 125 |
| 2.2.4 三维几何建模技术 | 16 | 3.5.2 实体(几何体)组织 | 127 |
| 2.3 特征建模技术 | 22 | 3.5.3 特征组织 | 127 |
| 2.3.1 特征建模的特点 | 22 | 思考与练习题 | 128 |
| 2.3.2 特征的定义 | 23 | 第4章 产品装配建模 | 134 |
| 2.3.3 特征的分类 | 24 | 4.1 装配建模的基本知识 | 135 |
| 2.3.4 基于特征的零件信息 模型 | 25 | 4.1.1 装配结构组织——产品、 部件、零件 | 135 |
| 2.3.5 特征建模技术 | 26 | 4.1.2 装配中的约束 | 135 |
| 2.4 参数化设计与变量化设计 | 27 | 4.1.3 装配中的自由度 | 136 |
| 2.4.1 基本概念 | 27 | 4.1.4 装配操作 | 136 |
| 2.4.2 参数化设计 | 30 | 4.1.5 装配建模的三种方法及 其建模步骤 | 137 |
| 2.4.3 变量化设计 | 31 | 4.2 装配建模的环境与功能 | 138 |
| 思考与练习题 | 32 | 4.3 自底而上的装配建模举例 | 139 |
| 第3章 产品零件建模 | 33 | 4.4 自顶而下的装配建模举例 | 145 |
| 3.1 造型系统 | 33 | 4.5 关联的装配建模举例 | 152 |
| 3.2 特征造型 | 36 | 思考与练习题 | 160 |
| 3.2.1 基于草图的特征 | 37 | | |

| | | | |
|--|-----|--------------------------|-----|
| 第 5 章 产品装配的可行性验证 | 166 | 6.1 工程图文档管理 | 228 |
| 5.1 机构运动副的构建 | 167 | 6.2 创成式工程绘图 | 231 |
| 5.1.1 运动副的种类 | 167 | 6.3 交互式工程绘图 | 245 |
| 5.1.2 通过系统提供的运动 约束建立运动副 | 168 | 6.4 生成装配图 | 248 |
| 5.1.3 通过自动转换装配约束 为运动约束而构建运动 机构的运动副 | 198 | 思考与练习题 | 251 |
| 5.2 运动机构的动态模拟 | 199 | 附录 | 253 |
| 5.3 产品模型组装的动态模拟 | 213 | 附录 1 CATIA V5 软件简介 | 253 |
| 5.4 装配体的空间分析 | 218 | 附录 2 图形用户界面 | 254 |
| 思考与练习题 | 227 | 附录 3 草图设计工作台 | 256 |
| 第 6 章 产品二维工程图绘制 | 228 | 附录 4 零部件设计工作台 | 270 |
| 6.1 工程图概述 | 228 | 附录 5 装配设计工作台 | 292 |
| 6.2 工程图的基本知识 | 228 | 参考文献 | 307 |
| 6.3 工程图的基本术语 | 228 | 编后 | 308 |
| 6.4 工程图的基本要素 | 228 | | |
| 6.5 工程图的基本视图 | 228 | | |
| 6.6 工程图的基本投影方法 | 228 | | |
| 6.7 工程图的基本制图标准 | 228 | | |
| 6.8 工程图的基本制图规范 | 228 | | |
| 6.9 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.10 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.11 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.12 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.13 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.14 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.15 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.16 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.17 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.18 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.19 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.20 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.21 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.22 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.23 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.24 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.25 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.26 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.27 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.28 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.29 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.30 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.31 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.32 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.33 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.34 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.35 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.36 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.37 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.38 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.39 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.40 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.41 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.42 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.43 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.44 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.45 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.46 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.47 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.48 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.49 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.50 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.51 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.52 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.53 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.54 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.55 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.56 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.57 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.58 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.59 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.60 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.61 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.62 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.63 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.64 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.65 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.66 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.67 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.68 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.69 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.70 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.71 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.72 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.73 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.74 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.75 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.76 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.77 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.78 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.79 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.80 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.81 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.82 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.83 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.84 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.85 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.86 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.87 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.88 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.89 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.90 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.91 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.92 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.93 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.94 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.95 工程图的基本制图实例 | 228 | | |
| 6.96 工程图的基本制图习题 | 228 | | |
| 6.97 工程图的基本制图思考 | 228 | | |
| 6.98 工程图的基本制图练习 | 228 | | |
| 6.99 工程图的基本制图应用 | 228 | | |
| 6.100 工程图的基本制图实例 | 228 | | |

绪 论

1. 本书的性质、教学目标、主要内容及教学任务

本书可以作为传统工程制图课程后的延续内容,是连接机械类、工业设计类专业基础课和专业课的桥梁。它直接影响着学生的专业课、课程设计和毕业设计等一系列后续课程的学习,同时也是学生毕业以后从事科研、设计及生产工作必备的专业技能之一。本书既有理论性,又有较强的实践性。

本书的性质是研究产品设计思想的三维图形表达,主要解决的是产品数字化设计过程中三维建模和二维工程图表达方面的技术问题,其核心是建立产品的数字化模型,掌握数字化产品模型的建模技术和建模方法。

本书的教学目标是通过相应的理论学习及产品三维建模的训练过程,增加学生表达工程思想的技能,激发学生的创新潜能,提高学生的综合素质。

本书的主要内容是机械设计概述、三维工程制图的理论基础、产品的三维建模思想与方法、产品的二维工程图绘制。

本书的主要教学任务是:

- (1) 了解机械产品的常规设计与现代设计的过程,建立产品数字化设计的概念。
- (2) 初步掌握产品的三维建模技术。
- (3) 培养学生具有构造基于特征的参数化模型的技能。
- (4) 培养学生具备将产品的三维模型向二维工程图转换的能力。

本书可作为高等工科院校产品设计相应课程的教学用书,也可作为建模师培训、继续教育用书及工程技术人员的参考书。读者在使用本书时应进行上机实践,以收到较好的效果。

书后所附光盘收录了书中的实例和习题的源文件及部分建模操作录像,供读者练习和参考。

2. 本书的教学内容和教学思路

本书的教学内容包含两个方面:三维建模理论和三维建模实践。

(1) 三维建模理论 三维建模理论主要包含机械设计概述、机械产品设计过程、常规机械设计方法、计算机辅助设计、产品数字化设计(三维设计)概念、三维工程制图的理论基础和三维建模设计方法等。

三维建模理论教学达到的目的是:了解机械产品设计过程、现代机械设计方法(CAD)、产品数字化设计(三维设计)概念;掌握三维建模技术的基本概念。

(2) 三维建模实践 三维建模实践主要包含产品零件建模、产品装配建模、产品装配的可行性验证、产品二维工程图绘制等。

三维建模实践教学达到的目的是:在建模理论的指导下,理解和掌握建立产品数字化模型的操作方法。

本书的教学思路是通过有关建模理论的学习后,在三维软件平台上实践产品的建模过程,掌握产品建模的方法。在三维建模理论的教学过程中,通过数字化产品模型、建模、特征、驱动、约束、参数化、变量设计等概念的讲解,使学生理解三维建模技术和三维建模设计方法。在三维建模实践的教学中,通过实例让学生掌握先参数后建模、先建模后参数的产品零件的参数化设计方法,掌握基于关联关系的参数变量化装配设计方法,掌握自底而上装配与自顶而下装配的设计方法,掌握装配可行性的验证方法等。

3. 本书的特点

(1) 本书较全面地讲述了机械工程领域里产品数字化设计思想的三维图形表达的技术问题,针对传统工程制图课程讲述产品设计思想的二维图形表达的情况,本书的内容完全可以作为工程制图课程的一部分内容,来补充和完善设计思想图形表达的方法。

(2) 本书的主要内容是三维建模技术和三维建模方法,书中以大量的实例介绍工程产品零部件的建模方法,具有较强的工程应用价值和实用性,因而可作为高等学校产品设计相应课程的教学用书、建模师培训教材和从事产品数字化设计的工程技术人员的技术参考书。

本书中所有的例题是在 CATIA V5 R17 软件环境中运行的。本书的教学与实践学时为 32~48 学时,适合在计算机机房上课,边讲边练。

第1章

机械设计概述

| | |
|------------------|---|
| <p>■ 本章要点:</p> | <p>机械设计的含义和机械设计过程,常规的机械设计方法、计算机辅助机械设计的过程以及计算机辅助机械设计的发展方向。</p> |
| <p>■ 本章难点:</p> | <p>如何理解现代机械设计是以三维设计为主、二维表达为辅的形式。</p> |
| <p>■ 学习方法提示:</p> | <p>从对机械设计知识概念性理解方面,认识“本课程所研究的三维建模内容是产品数字化设计(三维设计)的出发点”这一问题。</p> |

1.1 机械设计概述

机械是机器和机构的总称,是人类生产、生活的工具。

设计是人们按照自己的愿望而进行创造性活动的过程,设计的核心是创造。

机械设计是指机械装置和机械系统的设计,是根据使用要求对机械应该具备的功能,构想出机械的工作原理、运动方式、力和能量的传递方式、结构形状以及所用材料等事项,并转化为具体描述的过程。

机械设计是一项创造性的工作,任何先进的装备和机器无一不涉及机械设计。机械设计的具体描述有工程图样、设计说明书、产品样机等。

例如:齿轮油泵产品的设计。

齿轮油泵的功能是为发动机提供润滑,它将发动机底部油箱中的润滑油输送到发动机上相关运动部件需要润滑的部位。

设齿轮油泵的使用要求为:排量 $V = 48 \text{ ml/r}$, 输出压力 $p_0 = 10 \text{ MPa}$ 。

齿轮油泵的工作原理如图 1-1 所示,在泵体内装有一对外啮合齿轮,一个主动齿轮轴和一个从动齿轮轴(均由泵体、泵盖支承),齿轮两侧有端盖。动力通过主动齿轮轴传递给主动齿轮(用键连接),并带动从动齿轮旋转,壳体、端盖和齿轮的各个齿间槽组成了许多密封工作腔。当齿轮按图 1-1 所示的方向旋转时,右侧吸油腔由于相互啮合的齿轮逐渐脱开,右边工作腔容积逐渐增

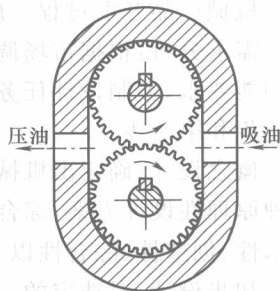
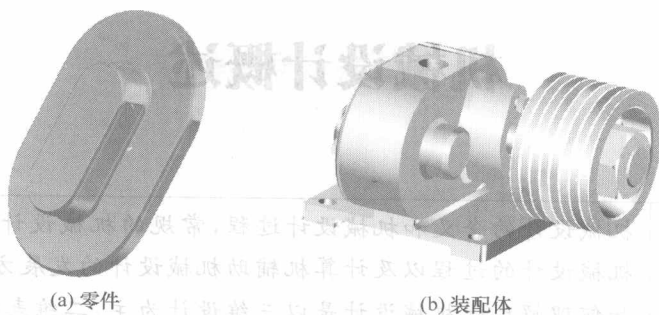


图 1-1 齿轮油泵工作原理图

大,形成部分真空,润滑油被吸入并充满齿槽。随着齿轮旋转,润滑油沿着壳壁被带到左边压油腔内。由于齿轮啮合使齿槽内润滑油被挤压,从而产生高压,压油腔容积不断减小,油便被挤出去。

图 1-2 所示为齿轮油泵中零件及装配体的三维模型,图 1-3 所示为齿轮油泵中零件的二维工程图样。



(a) 零件

(b) 装配体

图 1-2 齿轮油泵的零件和装配体三维模型

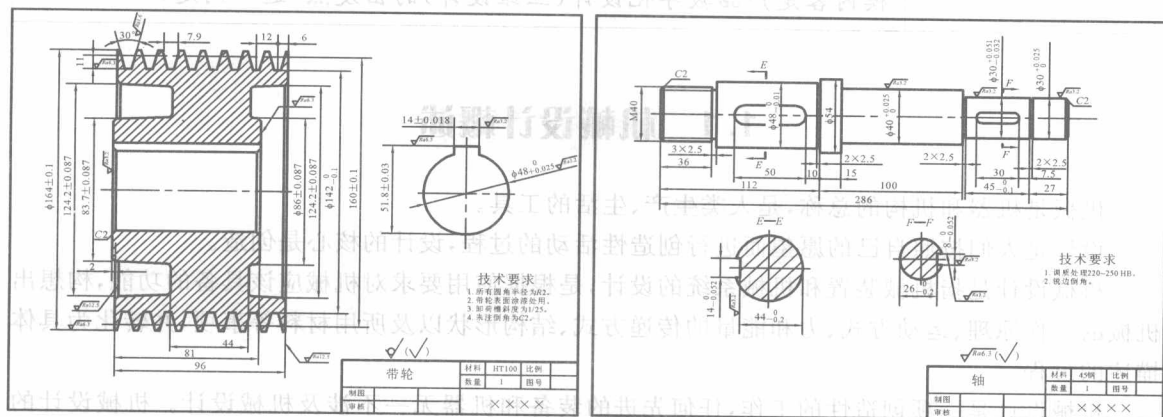


图 1-3 齿轮油泵中零件的二维工程图样

装备和机器的诞生是从需求出发,经历市场调查、论证、设计、制造、鉴定到产品定型的过程。

机械产品开发过程一般可以分为以下几个阶段(图 1-4):

需求分析:根据市场调查及用户需求分析,提出设计任务,进行产品的可行性研究,提出明确的功能要求,编制设计任务书,给出任务要求。这一阶段主要给出设计任务书,对应图 1-4 中的第一步和第二步。

概念设计:确定出机械产品的基本功能及相应的工作原理,并进行工艺等分析,进而构思出各种原理性设计方案,综合分析论证后,选定一组可行的原理性方案。这一阶段主要体现设计的艺术性、创造性、综合性以及设计师的经验,对应图 1-4 中的第三步和第四步。

初步设计:对选定的一组可行原理性方案,从技术角度及产品生命周期角度进行综合评价,同时对产品的可靠性进行分析和考察。通过方案论证,最后决策确定出一个相对最优方案,通常

以原理结构图或机构简图方式表达,并附带机械运动简图、设计参数计算说明书等。这一阶段主要确定一个最优方案,对应图 1-4 中的第五步和第六步。

详细设计:针对初步设计阶段确定的最优方案,设计出产品的具体细部结构,最终完成产品的全部技术文件,包括总装配图、零件图、技术文件等。这一阶段主要形成产品的全部技术文件,对应图 1-4 中第七步。

定型设计:即样机加工试制、样机测试、鉴定及定型。给出样机试制工作报告,进行性能试验检测、样机试用情况报告等来校验机械设计的正确性。针对存在问题进行技术完善,改进设计,进而实现样机的试制,进行功能与可靠性等方面的考核与鉴定。鉴定通过后,进行产品定型,并根据市场的需求进行批量生产,投放市场。这一阶段主要进行产品的定型,对应图 1-4 中的第八步至第十步。

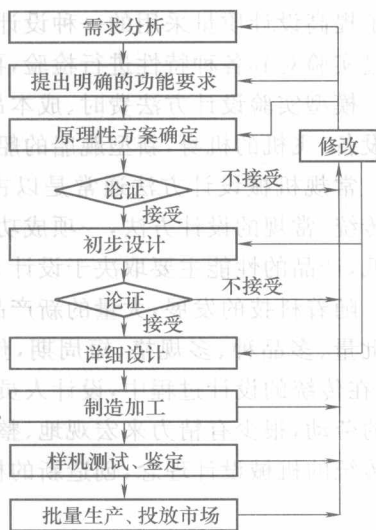


图 1-4 机械产品开发过程

1.2 常规机械设计方法

机械设计已有几百年的实践历程,形成了一些常规的机械设计方法,概括起来有以下几种:

1. 理论设计方法

理论设计是根据长期总结出来的设计理论和实验数据进行的设计。理论设计可以分为设计计算和校核计算两部分。

(1) 设计计算

设计计算按照已知的运动要求、载荷情况及零部件的材料特性等,经过计算确定零部件的尺寸和形状,如转轴的强度、刚度计算等。

(2) 校核计算

校核计算先根据类比法、实验法等方法初步定出零部件的尺寸和形状,再用理论公式进行校核。它多用于结构复杂,应力分布情况复杂,但又能用现有的应力分析方法(以强度为设计准则时)或变形分析方法(以刚度为设计准则时)进行计算的场合。

理论设计方法一般可以得到比较精确而可靠的结果,重要的零部件设计大都选择这种方法。

2. 经验设计方法

经验设计是根据使用经验而归纳出的经验关系式,或根据设计者本人的工作经验用类比的办法进行的设计。经验设计方法适用于一些次要的零部件,或者对于一些理论上尚不够成熟的,或虽有理论但没有必要用理论设计的零部件设计。

经验设计方法对那些变动不大、结构形状已经典型化的零件是一个行之有效的方法。例如,对于箱体类零件、机架类零件、传动零件的各种具体结构要素的设计就可以采取经验设计方法。

3. 模型实验设计方法

模型实验设计是对于一些尺寸巨大而结构又很复杂的重要零件,尤其是一些重型机械零件,

为了提高设计质量采用的一种设计方法。在模型实验设计中,把零部件或机器做成小尺寸样机,经过实验对其各种特性进行检验,再根据实验结果对设计进行修改和完善。

模型实验设计方法费时、成本昂贵,因此一般只适用于特别重要的机械设计,例如新型、重型的设备,飞机的机身,新型舰船的船体等。

常规机械设计方法通常是以古典力学为基础、大量采用经验数据的半经验性的设计方法。按传统、常规的设计方法,一项成功的机械设计往往要经历漫长的时间,花费较多的代价,设计效率低,产品的性能主要取决于设计人员的经验、素质等因素,设计质量和水平难以控制。

随着科技的发展,大量的新产品问世,使产品的平均寿命不断缩短,产品生产的特点更趋于小批量、多品种、多规格、短周期,传统的机械设计方法很难适应今天飞速发展的市场需要。此外,在传统的设计过程中,设计人员往往被束缚于繁琐的事务性工作中,经常从事重复性的、局限性的劳动,很少有精力来宏观地、整体地、全局地思考产品的创新性、实用性和优越性。因此,改变传统的机械设计理念,创造新的机械设计方法成为必然。

1.3 计算机辅助机械设计

计算机辅助设计(computer aided design, CAD)是指利用计算机作为工具,将人的创造性思维与计算机的高速数据处理、数据存储等能力相结合,完成对产品或工程的设计、绘图、工程分析和文档制作等设计活动的一种新的设计方法,也是一种多学科综合应用的新技术。由于该技术是以实现新产品设计为目标,以计算机硬件技术为基础,以数字化信息为辅助手段,支持产品建模、分析、修改、优化以及生成设计文档的相关技术的有机集合,所以又称为数字化设计。

数字化设计过程中,设计人员可以进行创造性的思维活动,完成机械设计方案构思、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。

在计算机程序运行的过程中,人可以评价设计结果、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、模型生成、绘图、模拟、优化和其他数值分析的任务。

随着计算机应用的普及,分析和图形软件的不完善,计算机辅助机械设计已渗入到从绘图到结构设计、工艺设计、工程分析、制造、优化和管理等过程。

任何的机械设计都表现为一种过程,每个过程都由很多的设计活动组成。计算机辅助机械设计过程一般可以分为以下几个阶段(图 1-5):

概念设计:通过市场调查及用户需求分析,提出设计要求,对产品进行概念设计构思及设计的可行性分析,根据产品的基本功能及相应的工作原理构思出产品的设计方案,应用计算机进行概念建模。

人机交互地进行实时修改,通过综合分析进行方案

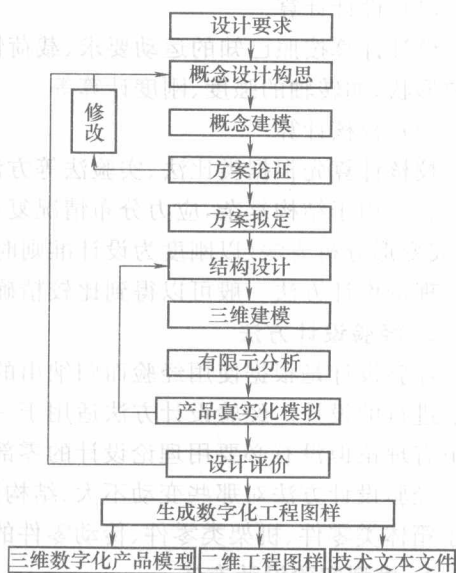


图 1-5 计算机辅助机械设计过程

论证,最后选定一组可行的原理性方案。这一阶段对应图 1-5 中的第一步至第四步。

2) 结构设计:在拟定出一个相对最优的原理性方案后,对产品构形进行构思与设计,应用计算机进行三维建模,对产品结构进行有限元分析及优化设计等。这一阶段对应图 1-5 中的第五步至第八步。

3) 设计表达:应用计算机进行产品真实化模拟,评价是否满足产品的基本功能及相应的工作原理,最终生成产品的三维数字化模型(简称三维模型)、二维工程图样及相应的技术文本文件,实现产品各种工程数据的管理。这一阶段对应图 1-5 中的第九步至第十二步。

计算机辅助机械设计的意义在于:

- 1) 彻底地改变了传统的设计手段,实现了产品设计的革命性变化。
- 2) 提供了可供下游 CAE(计算机辅助工程分析)、CAPP(计算机辅助工艺规划)、CAM(计算机辅助制造)、PDM(产品数据管理)、ERP(企业资源计划)使用的产品三维数字化模型,使计算机辅助机械设计成为 CIMS(计算机集成制造系统)工程的核心。
- 3) 有效地提高了企业的创新能力,缩短了产品的开发周期,提高了产品的质量,从而增强了企业的竞争能力。

产品设计要从三维计算机辅助设计开始,这种设计的优势在于:

- 1) 从三维开始的产品设计过程完全符合设计者的设计思维过程。
- 2) 设计者可以直接在计算机上建立全参数化的三维模型,直观、完整地反映出设计者意图。
- 3) 设计者可以直接在三维模型上进行讨论、修改、更新,并建立其完整的三维模型数据库。
- 4) 设计者对所建立的三维模型可进行应力分析、应变分析,制作质量的品质分析、空间运动分析、装配干涉分析,NC(数字控制)加工分析,外观色彩和造型效果评价以及商品广告造型与动画生成等。
- 5) 可直接由产品的三维模型生成产品二维工程图样。

1.4 计算机辅助机械设计的的发展方向

科学技术的突飞猛进使应用计算机进行产品开发的设计方法和设计手段不断更新,而产品的需求向个性化、多样化方向发展,要求开发周期短、上市时间快,又对计算机辅助机械设计提出了新要求。这一切引导出了计算机辅助机械设计的发展方向。

1. 三维化

CAD 的对象大多数是三维的,设计的对象越复杂,采用三维设计的优越性就越突出。随着三维图形技术的发展,在计算机环境中就能建立起产品相应的三维实体模型,使能够更直观、更全面地反映设计者的设计意图。设计者可以在三维模型的基础上进行零件的装配、干涉检查、有限元分析、运动分析等高级的计算机辅助设计工作。设计的三维化可以在建立产品的三维模型后,根据需要由三维模型方便地生成传统加工过程所用的二维工程图样。现代的机械设计将以三维设计为主、二维表达为辅的一种设计形式。1988 年,美国波音公司就试点用 CATIA 软件进行波音 767 客机发动机舱的三维打样,此后大型波音 777 客机的设计、制造、装配、实验已经全面使用了三维化的 CAD 技术,实现了百分之百的数字化和无纸化设计,使研制周期缩短到 4 年左右。随着计算机软硬件技术的发展,基于二维绘图的产品设计将很快被产品的三维设计所代替。

2. 参数化

设计参数化的优越之处在于产品模型的尺寸不是一个固定不变的值,而是一个可变动值(参数值),即将产品模型的参数变量化,使参数值之间建立一定的约束关系,这样就可以通过 CAD 系统中的尺寸驱动方法来修正和控制产品的几何形状,从而自动生成产品的精确模型。同时参数间的变量关系可以跨越 CAD 软件的不同模块,实现设计数据的相互关联。设计参数化在产品的系列设计、相似设计及专用 CAD 系统的开发上都具有重要的应用价值。

3. 智能化

机械设计是一项创造性活动,在这一活动过程中很多工作是非数据、非算法的,它需要根据设计人员丰富的经验和知识作出判断和决策。这些工作包括设计方案的构思、拟定,最佳方案的选择、结构设计的评价等。要实现人与 CAD 系统的融合及充分发挥设计人员的智能,可以将人工智能技术、专家系统技术等应用于 CAD 系统中,形成智能的 CAD 系统,使其具有推理、联想和判断等功能,从而解决那些以前必须由专家才能解决的设计问题;实现产品的开发过程、生产过程等各个环节的智能化。这是一个具有巨大潜在意义的 CAD 系统的发展方向,它可以在更高的创造性思维活动层次上给设计人员以有效的辅助。

CATIA 是法国达索系统公司开发的 CAD/CAE/CAM 的一体化软件。在 CATIA 系统中,提供给用户一种智能化模块,包括知识工程顾问、知识工程专家、产品知识模板、业务流程知识模板和产品工程优化等。通过提供方便易用的环境来创建、访问以及应用企业知识库,使用户在保存企业知识的同时,充分利用这些宝贵经验。其具体功能有:

1) 帮助用户把不规范的设计信息、最优的设计方法和流程等隐含的知识轻易地转化为正规的文档,即显示的知识;还可以把这些智能资产封装为产品设计模板直接使用,即应用了企业的最佳设计经验,同时保护了企业的智能资产,并且用户可以在任何时候定义、修改、插入任何类型的知识。

2) 在产品的设计过程中能把定义产品行为的显式规则与设计意图的交互捕捉能力结合起来。从而使系统在完成设计任务过程中作为一个专家顾问指导设计人员,与规则相违背和发生冲突时提出警告,这样就可以自动进行产品设计并降低风险。

3) 给用户提供了在整个产品生命周期都可以捕捉与重用企业知识的能力。

4. 集成化

现代化企业的核心管理理念是产品的全生命周期管理(PLM),集成就是向企业提供产品一体化的解决方案,实现产品设计制造系统数据的共享。产品的全生命周期管理要求企业中的设计、制造、管理等各个环节不可分割,实现数据全关联。CAD 处于产品全生命周期管理中的源头,要提高系统的集成水平,就要进行产品设计信息、设计过程、设计资源、设计技术、设计方法、设计管理、设计人员等的集成。以产品定义为核心的集成化是 CAD 系统的发展方向。

5. 网络化

网络技术是计算机技术和通信技术相互渗透、密切结合的产物。计算机辅助机械设计是计算机应用的一个重要方面,只有通过网络互连实现资源共享和协调合作,才能发挥更大的效能,所以离不开网络技术。因特网技术、Web 技术及三维可视化技术的发展给即时的协同设计带来了曙光。应用网络技术,利用各种通信协议,可使产品设计人员、工程技术人员以及供应链上各个合作伙伴、客户和企业等其他部门通力协作,连成一个设计、生产、制造、销售网络,以实现即时

协同作业。CAD系统的网络化是CAD系统即时协同设计及协同作业环境的基本要求,是实现设计、制造自动化的基础,所以是CAD系统的发展方向。

6. 并行化

并行工程是一种新的系统工程方法,并行工程的核心内容是并行设计方法,用来取代传统的串行设计方法。应用并行设计方法可以使产品开发人员从一开始就考虑到产品从概念设计到消亡的整个生命周期的所有因素,可以并行地、集成地实现产品的需求分析、设计、开发、加工及其销售等环节,实现信息流的双向及设计制造中各种问题的协同解决。并行化要求设计人员在产品的计算机辅助设计阶段采用并行的工作模式协同地工作,既有分工,又有合作,要考虑产品质量、成本、用户需求等产品整个生命周期的各项要求,缩短产品的开发周期,提高产品的开发效率。

7. 标准化

随着CAD系统的集成化和网络化,越来越多的用户需要将产品数据在不同的应用系统间进行交换,制定各种产品设计、测评和数据交换的标准势在必行。产品模型数据交换标准STEP是目前国际标准化组织(ISO)制定的国际统一CAD数据转换标准。STEP是一套系列的国际标准,应用这一标准能完整地表达产品信息,并独立于具体的应用软件,允许采用不同的实现技术,便于产品数据的存取、传输和归档,保证在多种应用和不同系统中的一致性。建立符合STEP标准的全局产品数据模型是企业未来发展的需要。同时,我国还将建立图文并茂、参数化的标准件库,替代现行的各种形式的标准化手册。随着技术的发展,各种产品设计、测评和数据交换等新的标准将会制定,基于这些标准推出的CAD软件将是用户进行产品开发、产品建模、数据管理的实用平台。

思考与练习题

1. 在计算机辅助设计(CAD)中,人与计算机的作用是什么?
2. 计算机辅助机械设计的优点是什么?
3. 怎样理解产品的设计、制造、生产和管理的计算机集成?
4. 计算机辅助设计(CAD)技术未来的发展方向是什么?
5. 如何认识产品的数字化设计?