

教育部—西门子产学合作专业综合改革项目系列教材



机械设计综合实训

阳 程 焦丽丽 严潮红◎编著

西门子工业软件（上海）有限公司 监制

提供课件等配套资源（www.hxedu.com.cn）



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

教育部—西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

机械设计综合实训

阳 程 焦丽丽 严潮红 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本教材是教育部“西门子 2013 年产学合作专业综合改革项目”系列教材之一（教高司函〔2013〕101 号），采用任务驱动的教学方式，将理论知识、设计方法与操作步骤融于具体设计案例，符合“卓越工程师培养计划”提出的按照行业、企业标准培养工程实践人才的要求。

本教材在内容编排上，以培养产品设计能力为目标，以典型机械产品为设计案例，以产品设计流程为依据，将 NX 贯穿于机械产品总体方案设计、传动系统设计、部件设计、零件的详细设计、运动分析及有限元结构分析、工艺规程与夹具设计等；整合了机械原理、机械设计、机械制造装备、机械制造工艺等课程，突破了单一课程设计的不系统性和零散性，构建了以机械产品设计能力为主线，工程规范意识和工程素养为培养目标的机械设计综合实训课程内容体系。

本教材适用于普通高等院校工科机械类各专业教学，可用于机械设计综合实践课程，也可用于机械原理、机械设计、机械制造工艺与装备设计等课程的课程设计，还可作为毕业设计的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

机械设计综合实训/阳程，焦丽丽，严潮红编著. —北京：电子工业出版社，2015.12

教育部—西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

ISBN 978-7-121-27650-7

I. ①机… II. ①阳… ②焦… ③严… III. ①机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 282888 号

策划编辑：许存权

责任编辑：许存权 特约编辑：刘丽丽 王 燕

印 刷：三河市华成印务有限公司

装 订：三河市华成印务有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：9 字数：230 千字

版 次：2015 年 12 月第 1 版

印 次：2015 年 12 月第 1 次印刷

定 价：29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

Preface

Siemens PLM Software has partnered with the Education Management Information Center of the People's Republic of China Ministry of Education (MOE) to support education in engineering technology and help provide the global manufacturing industry with a highly trained and heavily recruited workforce.

This textbook cultivates innovative engineering technology talent and enhances career competitive advantages for china's university students. It supports the use of leading edge technology to give students a solid platform to become the excellent engineer in the 21st century, and the pioneer the development of digital and intelligent manufacturing throughout the country.

This book combines theory and practice through explanation and examples to enhance the reader's basic knowledge and skills product lifecycle management (PLM).

The curriculum integrates attributes and processes from Siemens PLM software, which is used by leading manufacturing companies around the globe to develop some of the world's most sophisticated products. This includes NX™ software for integrated computer-aided design, manufacturing and engineering simulation (CAD/CAM/CAE), Teamcenter® software for digital lifecycle management software and Tecnomatix® software for digital manufacturing.

Strong instruction by top Chinese universities accelerates the development of certified industrial IT talent and boosts the application of computer-aided and digital technologies in the field of engineering.

We are impressed with the innovative engineering design projects developed by students leveraging this textbook with top notch classroom instruction.

Leo Liang
CEO and Managing Director
Greater China
Siemens PLM Software

Dora Smith
Global Director
Academic Partner Program
Siemens PLM Software

序 言

Siemens PLM Software 与教育部高等教育司合作，支持工科类教育事业，为全球制造业培养和提供大量训练有素的人才。

本系列教材适用于创新型工程技术人才的培养，有助于提高大学生的职业竞争力，为学生成为21世纪优秀工程师、全国的数字化和智能制造业发展先驱提供了一个领先的技术平台。

本系列教材理论和实践相结合，通过详细的解析及案例分析，增强了读者掌握产品全生命周期（PLM）的基本知识和技能。

本系列教材集成了Siemens PLM Software的操作及属性，该软件被全球制造业公司用于开发最复杂的产品，软件包括NX™集成计算机辅助设计、制造和工程仿真（CAD/CAM/CAE）软件、Teamcenter®产品全生命周期管理软件、Tecnomatix®数字化制造软件。

在其强有力的引导下，中国顶尖大学加速了工业认证IT人才的发展，提高了计算机辅助技术和数字化技术在工程领域的应用水平。

我们深信，读者在本系列教材及顶级课堂教学的指引下，便能掌握创新性工程设计项目的开发。

梁乃明

首席执行官兼董事总经理

大中华区

Siemens PLM Software

Dora Smith

全球总监

教育合作发展部

Siemens PLM Software

前 言

本书是教育部“西门子 2013 年产学合作专业综合改革项目”系列教材之一（教高司函（2013）101 号）。

现代机械产品的设计具有两个重要特点：一是采用自顶向下的设计方式，另一个是多人参与、协同完成。Siemens NX 作为当今世界上紧密集成的、面向制造行业的 CAD/CAM/CAE 高端软件，广泛应用于工程中的概念设计、工业设计、机械产品结构设计，以及工程仿真和数字化制造等各个领域。它提供了一个基于过程的产品设计环境，使产品开发从设计到加工制造真正实现数据的无缝集成，从而优化了企业的产品设计与制造流程。

本教材以培养产品设计能力为目标、以典型机械产品为案例、以产品设计流程为依据组织教学内容、安排章节。在内容上整合了机械原理、机械设计、机械制造装备等课程，突破了单门课程设计的不系统性和零散性，构建以机械产品设计能力为主线，工程规范意识和工程素养为培养目标的设计综合实训课程。

本教材采用任务驱动的教学方式，将理论知识、设计方法与步骤融于具体设计案例。教材选取企业的真实产品作为设计内容，在案例的设计流程中循序渐进地阐述设计所用到的知识、技能，注重培养学生综合运用所学知识解决实际问题的能力。

本教材基于 Siemens NX 集成的 CAD/CAM/CAE 系统，将三维设计制造软件 NX 系统有机地融入并贯穿于产品设计全过程，适应制造业发展现状和需求，符合“卓越工程师培养计划”提出的按照行业、企业标准培养工程实践人才要求，推进了教学内容和教学手段的现代化。

本教材十分重视产品设计标准和规范的教学，指导学生合理运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料进行产品设计，着力培养学生的工程规范意识和工程素养。

本书第 1,2,5 章由阳程编写，第 3 章由焦丽丽、严潮红编写，第 4 章由严潮红编写。

本教材在编写过程中得到盐城工学院刘德仿副院长、Siemens PLM Software 公司沈利群女士的具体指导；同时还参考了国内同行编写的很多同类优秀教材，在此一并致以衷心的感谢！

本教材是西门子公司产学合作专业综合改革项目和盐城工学院“十二五”期间首轮实验（实训）教材出版基金资助教材，教材编写所使用的 NX 系统，由 Siemens PLM Software 公司 GO PLM 计划捐助。

限于编者学识水平，书中的不妥甚至错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

Jim Rusk

产品工程软件高级副总裁

Siemens PLM Software

目 录

第 1 章 自顶向下与系统工程设计方法··· 1	第 3 章 车床主轴箱设计·····47
1.1 机械设计过程比较····· 1	3.1 主轴箱设计条件与设计内容·····47
1.2 参数化技术····· 3	3.2 传动件的设计计算·····47
1.3 自顶向下产品设计模式····· 4	3.2.1 V 带传动的计算·····49
1.4 系统工程产品设计模式····· 5	3.2.2 计算转速、功率的确定···50
1.4.1 系统的概念····· 5	3.2.3 齿轮的计算·····51
1.4.2 系统工程设计模式下的 产品设计过程····· 5	3.2.4 传动轴的计算·····52
1.4.3 NX 中系统工程的实施 方法····· 6	3.2.5 离合器的选择与计算·····54
1.5 产品设计实例····· 11	3.3 主轴箱数字化样机自顶向下 设计·····55
1.6 本章小结····· 17	3.3.1 总体布局——控制结构 的设计·····55
1.7 思考与练习····· 17	3.3.2 轮系组件的设计·····58
第 2 章 机床总体与传动系统设计·····18	3.3.3 轴系组件的设计·····60
2.1 设计条件····· 18	3.3.4 拨叉组件的设计·····68
2.2 设计内容与设计流程····· 18	3.3.5 箱体及附件的设计·····69
2.2.1 普通机床设计的内容····· 18	3.3.6 各组件工艺等详细结构 的设计·····72
2.2.2 基于 NX 的机床设计 流程····· 19	3.4 工程图设计·····73
2.3 机床总体设计····· 20	3.4.1 零件工程图·····73
2.3.1 确定机床运动方案····· 20	3.4.2 装配工程图·····83
2.3.2 确定机床主要技术参数··· 21	3.5 本章小结·····87
2.3.3 机床总体布局····· 26	3.6 思考与练习·····87
2.4 机床传动系统设计····· 28	第 4 章 零部件运动仿真与结构有限元 分析·····88
2.4.1 主轴箱传动设计····· 28	4.1 运动仿真概述·····88
2.4.2 进给箱传动设计····· 30	4.2 运动方案的建立与参数设置·····88
2.4.3 溜板箱传动设计····· 36	4.2.1 运动方案的建立·····88
2.4.4 绘制机床传动系统图····· 39	4.2.2 运动参数的设置·····89
2.5 基于 NX 软件建立机床总体控 制结构····· 41	4.3 连杆·····90
2.5.1 机床联系尺寸图····· 41	4.3.1 创建连杆·····90
2.5.2 建立机床总体控制结构··· 41	4.3.2 连杆属性·····90
2.6 本章小结····· 46	4.4 运动副·····92
2.7 思考与练习····· 46	4.4.1 运动副类型·····92

4.4.2	Gruebler 数与自由度	92	4.8	NX 高级仿真概述	107
4.4.3	旋转副	93	4.9	NX 高级仿真操作流程	107
4.4.4	滑动副	94	4.10	机床主轴有限元分析	117
4.4.5	齿轮副	94	4.11	本章小结	121
4.4.6	齿轮齿条副	95	4.12	思考与练习	121
4.4.7	点在线上副	96	第 5 章	设计综合实训课程教学实施	122
4.4.8	线在线上副	97	5.1	设计综合实训目的和要求	122
4.5	运动驱动	98	5.1.1	设计综合实训的教学目的	122
4.5.1	恒定运动驱动	98	5.1.2	设计综合实训的教学要求	122
4.5.2	简谐运动驱动	99	5.2	设计综合实训教学实施	123
4.5.3	函数运动驱动	100	5.3	设计综合实训内容与考核评价	129
4.5.4	铰接运动驱动	100	5.3.1	设计综合实训的主要内容	129
4.6	仿真解算与结果输出	101	5.3.2	考核方法及成绩评定	132
4.6.1	解算	101	参考文献	134	
4.6.2	动画的播放及输出	101			
4.6.3	封装选项	102			
4.6.4	图表功能	103			
4.7	机床主轴箱运动仿真分析	105			

第 1 章 自顶向下与系统工程设计方法

在 NX 环境下，进行产品开发的过程与传统模式下的产品开发有明显的不同，其工作效率、控制方式、文件管理都是大不相同的。传统设计模式的复杂性、效率的低下性、团队合作的困难性等难以满足现代环境下快速多变的设计需求，因此，必须要用新的设计模式来代替原有的设计模式。

目前，有多种工程软件能满足这种需求，如 NX、PRO/E、CATIA、SOLIDWORKS 等。其中，NX 可以实现从产品概念设计到定型设计、产品加工、模具设计、仿真分析等一系列过程的完整管理与服务，即所谓的全生命周期管理软件。目前的相关教材多数停留在单个零件的造型、加工、工程图、模具设计等基本应用阶段，没有将 NX 整个产品的完整开发作为重点讲解，没有脱离传统的设计模式。本章将介绍如何通过一个团队，对一个复杂产品进行高效率开发、组织及管理等内容。

1.1 机械设计过程比较

机械产品传统设计过程如图 1-1 所示，其特点如下。

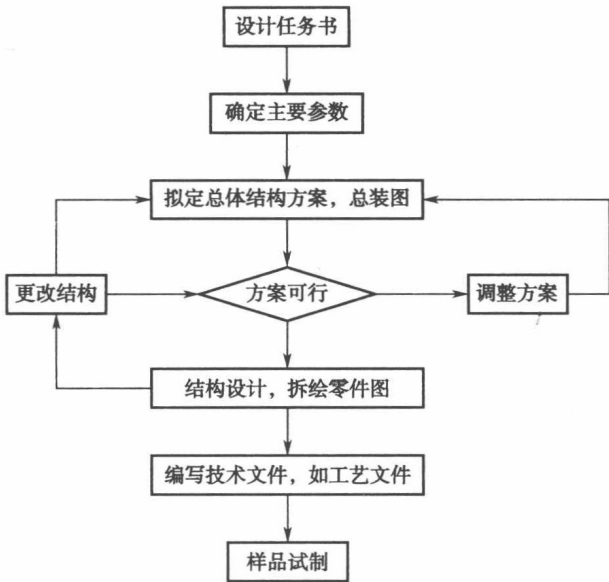


图 1-1 传统的机械设计过程

(1) 所有环节都是依靠设计者用手工方式来完成, 因此设计速度慢, 可修改性差, 不便检查。一般而言, 传统设计是根据设计者直接的或间接的经验知识, 通过类比分析法或经验公式来确定设计方案。方案选定后按机械零件的设计方法设计零件或按标准选用零件, 最后绘出整机及部件的装配图和零件图, 编写技术文件, 从而完成整机设计。

(2) 传统的机械设计方法, 设计者的大部分时间和精力都耗费在装配图和零部件图的绘制上(绘图工作约占设计时间的 70%左右), 因而对整机和全局的问题难以进行深入研究。对于一些困难而费时的分析计算, 常常只得用作图法或类比定值等粗糙的方法, 因此, 方案的拟定在很大程度上取决于设计者的个人经验。在分析计算工作中, 由于受人工计算条件的限制, 只能采用静态的或近似方法而难以按动态的或精确的方法计算, 计算结果未能完全反映零部件的真正工作状态, 影响了设计质量。

(3) 设计工作周期长, 效率低。由于每一幅工程图都要由设计者一笔一笔地绘制出来, 花费了大量时间。如果在实施过程中, 出现了结构或原理方面的修改, 则整个图样要大量返工或推倒重来; 即使只有少量结构图要修改, 如果该结构涉及其他相关部件较多, 其修改工作量仍然是可观的。

(4) 图样的可利用率几乎为零。系列或同类产品重复绘制图样, 大大影响了设计效率。

(5) 不能及时进行动力学与运动学分析, 只有通过实验来完成这些工作。

利用现代虚拟环境, 使用各种工程软件来完成机械产品的设计与开发, 就能圆满地解决这些问题。图 1-2 所示为在 NX 系统下的机械产品设计过程。可以看出, 由于使用自顶向下的设计模式, 综合运用系统工程理论, 以及使用全关联参数化设计, 使得产品的设计从概念模型到最后的样品完成, 具有如下诸多好处。

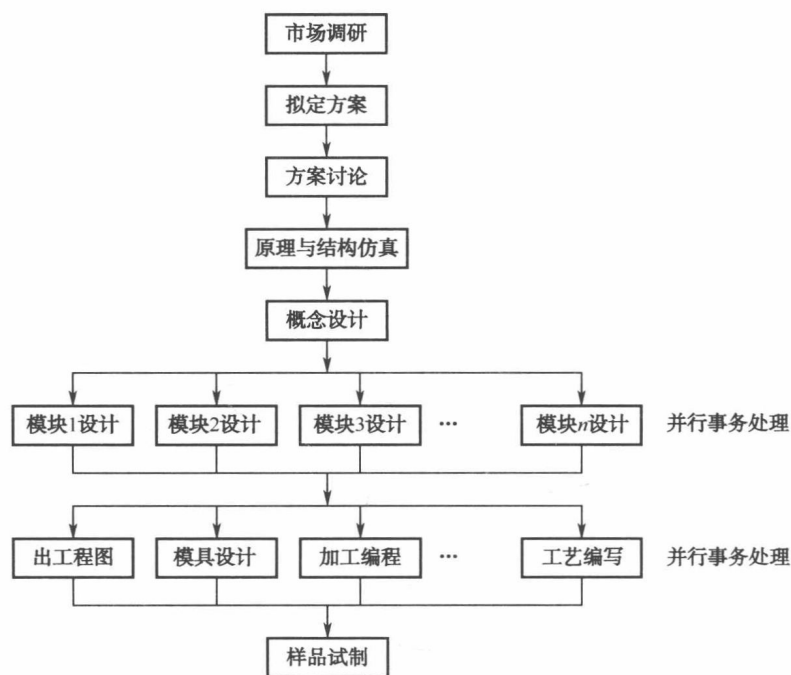


图 1-2 NX 系统下的产品设计过程

- (1) 设计者可以将大部分精力用于解决全局性问题而不是画图工作。
- (2) 应用 WAVE 设计模式, 产品具有关键参数控制功能, 保证了相连部件间的尺寸关联, 达到尺寸的一致性。
- (3) 使用三维设计, 可以很形象地看到部件的每一个细节, 从而判断其正确与否。
- (4) 可以很方便地进行类似设计, 或进行产品整体结构或局部结构的修改而不用从头来, 从而节约大量的重复时间。
- (5) 相关或类似零件可以再生, 零件利用率高; 能进行原理性、结构性的动力学或运动学仿真, 减少实验成本与设计差错。

(6) 整个设计采用并行设计模式, 具有高效、可重用、易修改维护等优点。

在图 1-2 中提到的概念设计, 对不同领域而言, 其含义是不同的。在 NX 设计环境下, 概念设计可以理解为根据用户对产品的实用性、安全性、经济性等需求, 提炼出产品的外观、结构、形状、性能等设计参数, 并以模块的形式设计出对应的产品初步模型, 然后在这个基础上进一步细化, 最终得到产品的每一个细节结构的过程, 概念设计的主要任务如下。

- (1) 根据用户需求, 确定系统总体布局与关键控制参数。
- (2) 划分并确定系统模块, 设计模块间联系参数, 多以草图、表达式、基准及曲线形式给出。
- (3) 将设计方案中得到的系统参数分配到系统全局及各模块中。
- (4) 体现各模块间的联系, 并将这些联系复制到相关模块中。这种设计体现了系统工程的思想, 将一个复杂系统分成若干个具有逻辑联系的模块, 各模块相对独立或各模块间仅有少量联系, 由参数进行传递, 从而使各模块可以相互独立设计, 细节设计完全由各模块的设计者自行决定。各模块可以由不同的设计团队同时进行设计, 提高了工作效率。
- (5) 使用自顶向下的设计模式, 使大而复杂的系统变得简单化, 降低了复杂程度; 提高了通用性与互换性。当各模块设计好后, 各工作部门可以同时设计出工程图 (总装图、部装图、零件图), 模具设计 (五金模、塑料模、压铸模), 加工编程, 三维装配与爆炸图, 工艺文件编写与制订等工作。

在 NX 环境下, 其设计结构的相关联性既减少了大量的重复工作量, 又保证各相关零件间的尺寸一致性, 从而保证了整个设计的高度可维护性。

1.2 参数化技术

在 NX 的产品设计中, 时常用到“参数化”这个概念。参数化 (Parametric) 的设计, 又称为尺寸驱动 (Dimension-Driven) 设计, 是 CAD 技术在实际应用中提出的课题, 它不仅可使 CAD 系统具有交互式功能, 还具有自动化和智能化的功能。

参数化技术大致可分为如下三种方法: 基于几何约束的数学方法、基于几何原理的人工智能方法和基于特征模型的造型方法。参数化设计有一种驱动机制, 即参数驱动, 参数驱动机制是基于图形数据的操作。通过参数驱动机制, 可以对图形的几何数据进行参数化修改。

NX 的参数化技术, 包括了约束建模、特征建模及人工智能的多种方法。一般地, 按参数影响的范围又可分为零件内参数化建模、零件间参数化建模和产品间参数化建模三类。

所谓零件内参数化,简单地讲就是在建立一个零件时,将一个或多个参数作为驱动参数,其余参数与之关联,达到驱动参数的改变,其余参数自动改变的目的。

NX 中用什么工具与方法来完成参数化建模?在零件内,通过约束和基于特征模型的方式进行参数化建模;在零件间,除了上面两种方法外,还可使用 WAVE 链接技术来完成这种建模, WAVE 链接技术也是 NX 进行产品自顶向下设计的重要工具。

NX 约束包括几何约束与尺寸约束,这些约束可以对图形的尺寸、位置与形状进行限制,从而使其符合设计需求。参数化的目的就是要让图形的形状、位置、尺寸是可控的,因此,约束是 NX 参数化技术中的重要手段之一。

设计图形时,可以用公式的方式给出符合某种规律的表达式来限定图形的形状、位置与尺寸。因此,表达式也是参数化技术的另一种手段,但公式正是基于特征模型建模的一种反映。

在 NX 中经常提到的 WAVE (What-if Alternative Value Engineer) 链接技术是 EDS 公司推出的参数关联设计技术。前面提到, NX 允许一个零件内部各参数间产生关联,从而达到参数驱动的目的,而 WAVE 就是实现通过一个零件的驱动参数来控制或影响另一个零件的一种技术手段,可以通过 WAVE 链接,将一个零件的参数传递并影响到另一个零件或整个装配,从而实现零件间的关联,这就是 WAVE 链接技术。

1.3 自顶向下产品设计模式

产品设计流程应该以市场与用户需求为依据,这些需求往往确定了产品某些关键尺寸参数,这些关键参数通常作为产品总布置设计的依据,并且成为结构细节设计的基础。

以对汽车产品的需求为例,通常涉及整车性能,安全性,外观造型,价格等多方面要求。这些性能要求往往是决定整车参数的重要依据,例如,发动机功率,总体尺寸,主要总成的结构,从而为汽车总布置设计提供了关键尺寸。

图 1-3 所示为自顶向下设计总体流程图,我们可以将需求看做是一种目标,总布置设计是为了满足这一目标而形成的一系列约束条件,而最终的设计结果则是产品。



图 1-3 自顶向下设计流程

对于简单或中等复杂产品的设计,自顶向下设计方法是非常实用和高效的设计方法。但随着产品复杂程度的提高和零部件数量的激增,如汽车、飞机等大型复杂产品。这些产品往往包含成千上万个零件,如此大型复杂的装配,会造成对计算机硬件要求过高。而在总体设

计和方案论证阶段,通常不需要非常详细的结构,故将所有的零部件装配成一个总成会造成工作效率低下,主次不分的状况。

另外,由于设计技术人员数量也相当庞大,设计管理和协调的难度也越来越大。例如,总布置设计的更改,需要通知相关设计人员。结构细节设计与总布置设计不协调,也必须反馈到总体设计。特别是在结构设计全面展开后,如果产品有重大设计的变更,会造成产品总体设计控制变更非常困难,甚至全部推倒重来。因此,对于复杂产品,总体设计往往需要考虑得非常仔细,避免重复设计的浪费,但是,这将增加后续结构设计的等待时间,产品设计周期难以缩短。

1.4 系统工程产品设计模式

1.4.1 系统的概念

系统工程方法与自顶向下设计方法类似,采用模块化设计技术。系统工程的思想是将一个大的工程分解为多个,有逻辑关系的子系统(或称为模块),每个子系统有自己的设计准则、设计约束;每个子系统可以相互独立地进行设计,从而实现所谓的并行工程。例如,在设计飞机时,可以将其分为机身、航电、动力等模块,这些模块间有联系,但又有内部的独立性。因此,只要理清了系统间的关系,子系统内部是可以独立进行设计的。例如,用系统工程的方法,可以同时设计机身、航电、动力等不同部件。当然,每个子系统又可以再次细分成若干下级子系统来由不同的设计团队完成,这样一个团队只需关心自己的设计模块,从而提高了设计的效率;按类似方法,不断将子模块进行细分,直到最后将系统细分到具体的零部件为止。这就是所谓的系统工程设计模式。

1.4.2 系统工程设计模式下的产品设计过程

一个产品的开发,首先要满足市场与社会的需求,这种需求会以一定的形式反映到产品的参数中,从而制约产品的设计。例如,设计一辆家用小汽车,用户会对汽车的外观、价格、舒适性、安全性、使用性等提出一定要求,这些要求就会反映到汽车的设计中。如价格要求,就会反映在材料的使用、功能配置等方面;舒适性要求就会反映到汽车空间大小(结构尺寸)、座位数等方面;使用性要求会反映到汽车的动力大小、变速箱的性能、尺寸及参数等方面。总之,这些用户需求最终将以不同形式的参数反映在汽车的设计中,从而形成汽车的外观形状与尺寸、各主要部件(主要模块)的关键参数及各主要部件之间的联系参数等数据。由这些参数设计出汽车各部分的主要结构、各模块间的相对位置与相互关系,形成了所谓的概念设计。通过概念设计,再由细节设计工程师完成各部分细化工作,直到整个系统最终以零件的形式出现,完成细节设计为止。整个产品的设计过程如图1-4所示。

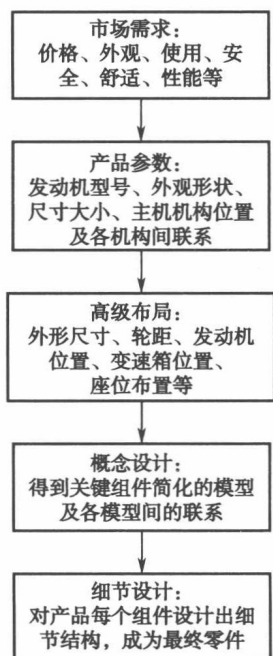


图 1-4 系统工程设计模式下的产品设计过程

1.4.3 NX 中系统工程的实施方法

1. 主要工作过程

在系统工程设计模式下, 完成一个复杂的产品设计, 首先需要对产品结构进行分析, 将系统划分为若干子系统(模块), 然后再将子系统继续往下细分, 直到最终部件为单一零件为止, 这样就得到了系统的总体布局结构。如果系统复杂, 可只分大模块, 小模块由负责该模块的工程人员再继续细分, 这样就可以进行并行设计, 提高工作效率。

当零件已经划分到单一零件后, 就要对每一个单一零件进行实体设计, 设计出该零件的细节, 然后为每一个零件建立起始部件, 并建立相应的引用集, 再以相应的引用集为源引用集来建立连接部件, 并以连接部件完成最终装配。在整个设计过程中, 起始部件是冗余设计, 但也是装配中细节设计的起始环境。

具体来说, 在 NX 系统中采用系统工程设计模式完成产品设计, 需要经过五个步骤。

(1) 建立控制结构层。

这一阶段主要是将产品按照系统工程的方法对产品结构进行分析和拆分, 直到拆分成单一零件为止。这层最为复杂, 是自顶向下设计的关键。重点要理顺控制参数、上下层及同级层间的控制方式, 形成控制中枢。这部分实现方法主要用“新建级别”命令来完成。

(2) 建立起始部件层。

起始部件层是最终装配部件前的冗余层, 通过“新建级别”命令实现, 往往将上一级的所有几何体都加进来作为该层的内容。

(3) 建立引用集。

通过建立不同部件的引用集, 达到最终传递部件连接数据的作用。这部分是通过“引用

集”命令来建立的，在操作时，往往只加入实体到引用集中，而不加其他几何体。

(4) 建立连接部件层。

该层次往往是最终的装配零件，使用“创建链接部件”命令来建立，创建时使用第三个层次建立的引用集。需要注意的是后面的引用集在装配导航器中不可见，而连接部件则显示在装配导航器的【相关性】栏中。

工作流程及各层之间的关系如图 1-5 所示。

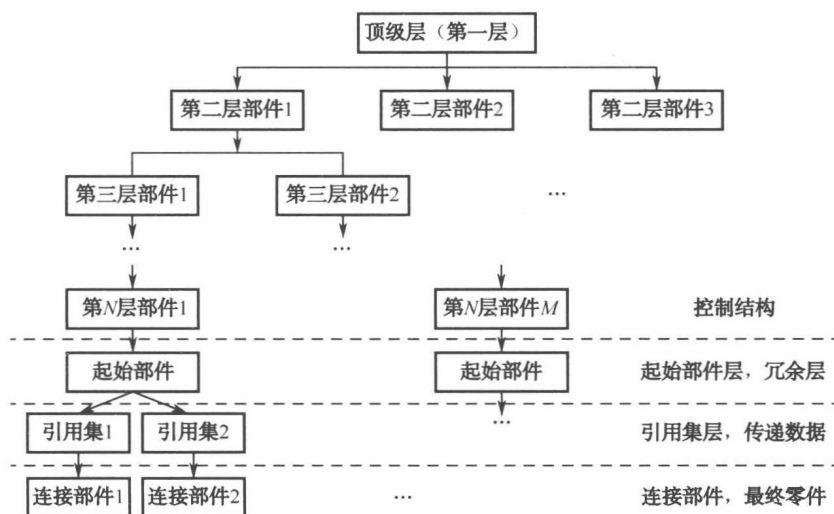


图 1-5 NX 中系统工程设计模式下完成产品设计的主要步骤

2. 建立 WAVE 控制结构

在 NX 环境中的系统工程设计方式下，主要是依赖 WAVE 几何链接器来进行的。在设计时，通过布局，可以得到系统的组成模块，并将每一个模块的具体作用、性能参数、外形尺寸、与其他模块间的连接参数、安装位置与尺寸、通信方式及参数等设计数据进行有机链接，组成分级分层结构，最终完成整个系统的构造，形成基于 WAVE 技术的产品控制结构。

一般而言，系统顶层包括系统的性能参数、系统外形尺寸、各模块的外形尺寸、各模块的安装位置与尺寸、模块间的连接、控制方式及通信方式等内容。下级模块层，主要包括各零件与部件间的相关性、零件与部件的大小形状、零件与部件的装配关系等内容。

一个系统可以设计成如图 1-6 所示的 WAVE 装配控制结构。系统由 n 个模块组成，各模块又可分为更小的若干个模块，如此下去，可分为 M 层，组成树状结构。各模块通过 WAVE 链接来控制系统内各模块间及模块内的主要参数。

系统工程是 NX 产品设计的一个亮点，通过它可以将上层的设计参数依次向下层传递，控制各下级模块间链接参数，从而使整个系统的修改变得容易；另外，它可以实现并行工程，从而加快工程进展。

在产品设计时，要认真进行控制结构设计，确定管理维护人员和数据的存放位置，然后再进行部件的设计。在建立控制结构图时，需要考虑以下问题。

(1) 产品的总体控制参数有哪些？（控制参数往往是在用户需求的基础上整理出来的产品的主要参数）它们会影响哪些模块？修改它们时会造成多大的修改成本？维护是否方便？

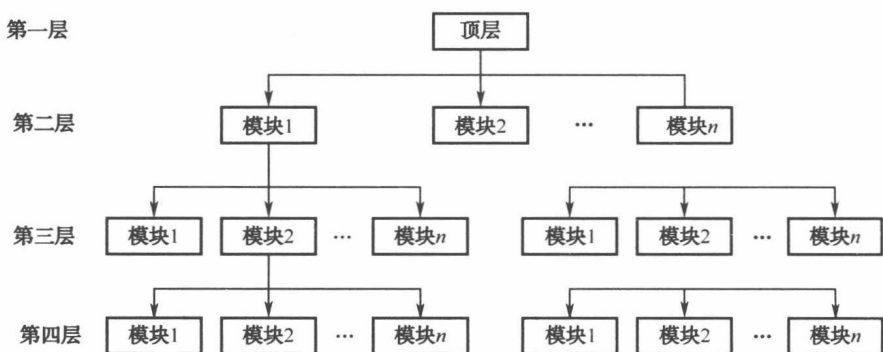


图 1-6 系统工程——WAVE 装配控制结构

(2) 模块划分的原则是什么？如何划分各系统模块，是要根据产品的性质与结构进行仔细分析与探讨的，划分不合理将造成设计成本的提高，甚至会使系统设计崩溃。

(3) 顶层数据的设置是否合理？在设计时，需要认真考虑哪些数据放在顶层作为控制结构是最合理的，如外形尺寸参数，各模块间的联系参数等，这些参数可以以基准的形式出现，也可以以表达式的方式出现，还可以以实体或片体的形式出现，一般放在顶层，对后续的下级层进行控制。

(4) 各模块能否再细分为更多的下级模块？在细分模块时，最好使最底层以零件的形式出现，这样便于进行细节设计。特别是要注意零件间与模块的控制关系，零件内部结构数据与模块间的联系。

(5) 当系统主控制结构发生变动后，会给各细节设计带来多大影响？如何影响？

3. 建立起始部件

在 WAVE 控制结构装配完成之后，可以为相关子系统建立起始部件。起始部件一般是控制结构中最底层的组件，如图 1-7 所示，通常作为一个或多个“连接”部件的起始点，一个起始部件可以同时控制多个子系统。为了便于后续建立连接部件，通常需要在起始部件中建立一个或多个特定的引用集。起始部件可以采用 Create New Level 方法建立，或采用自顶向下装配方法（Create New）建立。由于整个控制结构是一个装配，所有控制结构中的组件与普通装配没有区别，为了便于观察组件是否具有连接部件，可以在起始部件命名时增加一个“Start_”前缀。

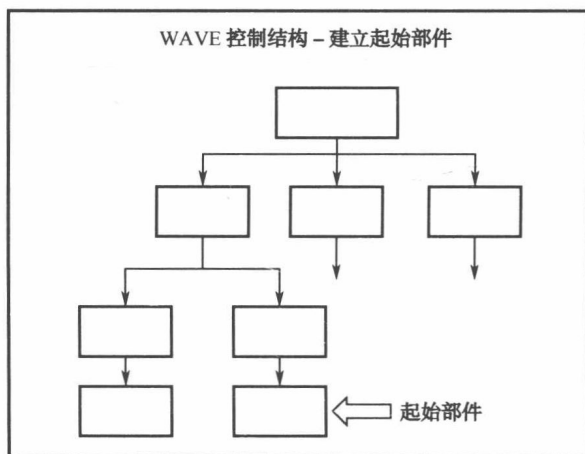


图 1-7 建立起始部件

4. 建立连接部件

连接部件是独立于控制结构装配的关联性部件，其中包含了起始部件中全部或部分细节几何对象，与起始部件保持相关性。在控制结构装配中不显示连接部件。连接部件可以单独存在，也可以作为组件加入子系统装配。建立连接部件的方法：在控制结构装配中，选择需要连接到的起始部件，单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“Create Linked Part”菜单项，如图 1-8 所示。

在“Create Linked Part”对话框中输入连接部件名，并且可以选择在起始部件中预先建立的引用集，如图 1-9 所示。

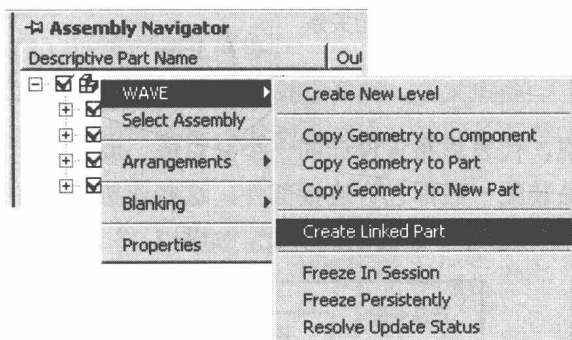


图 1-8 建立连接部件

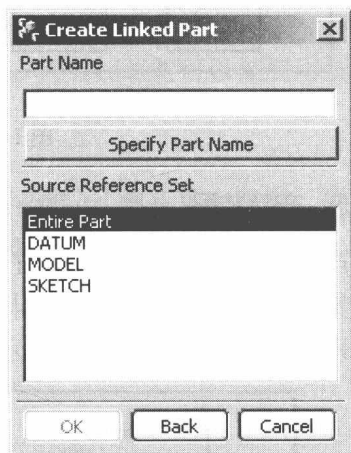


图 1-9 “Create Linked Part”对话框

如果在起始部件中增加了新的控制几何对象，除了使用“Entire Part”引用集外，为了保证所增加的几何对象自动传递到连接部件，必须在起始部件相应的引用集中增加新建立的几何对象。

连接部件无论是单独存在，还是位于装配中，在装配导航器中的部件名前均显示图标，以有别于普通组件，如图 1-10 所示。

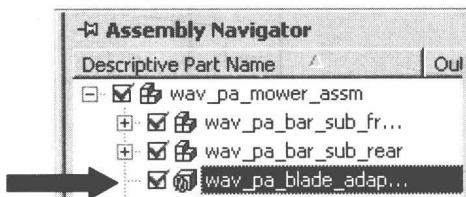


图 1-10 装配导航器中的连接部件

起始部件与连接部件的结构关系如图 1-11 所示，由于连接部件是独立的部件，其装配特性与普通部件文件相同。换言之，在将连接部件加入子系统装配后，可以建立配对约束，组件重定位等操作。

由于连接部件的位置与起始部件位置相同，在使用绝对坐标（0，0，0）加入装配时通常不使用配对约束，就可以保证位置的精确。但是，由于组件重定位可以使用，因此，无法避免由于组件重定位的误操作导致的位置不一致。