

第 1 章 现代设计学

1.1 引言

企业在市场机制下的竞争力可表示为：

企业市场竞争力 = 新产品开发能力 × 良好的管理机制 × 适度的自动化

在这个公式中，企业新产品的开发能力在其市场竞争力中具有决定性意义，后两者主要是为新产品的快速开发、快速上市、快速交货服务的。再好的管理，再高度的自动化，没有适应市场需求的开发新产品的能力，企业在市场中也是没有竞争力的。

要提高产品开发能力，就必须采用先进的设计、开发和制造手段。通常，运用设计方法和手段开发新产品的过程如图 1-1 所示。

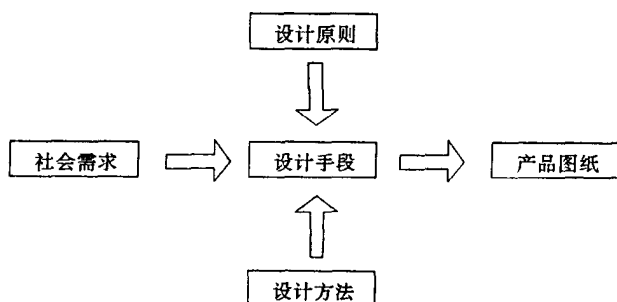


图 1-1 产品设计过程

市场竞争的需求和各种新理论、新技术、新工艺、新材料不断涌现，推动了设计方法和技术的进步。产品设计已从传统的人工经验的图纸设计进入到以计算机技术为主的无图纸的现代设计。随之而来，设计特征及结构、设计模型、设计策略、设计方法、图形信息交换方式等都发生了深刻的变化。

1.2 现代设计特征

现代设计是传统设计的深入、丰富和完善，而非独立于传统设计的全新设计。虽然目前对现代设计尚无确切定义，但可从以下特征来理解。

(1) 以计算机技术为核心

这是现代设计的主要特征。计算机技术的飞速发展对设计产生了巨大影响，表现为以下几个方面。

设计手段更新，甩掉图板的“无纸设计”作为现代设计的主流，极为显著的提高了设计效率。

产品表示从基于投影原理的二维转变到三维“产品模型 (Product Model)”。这种表示不仅包括反映产品形状和尺寸的几何信息,还包括分析、加工、材料、特性等数据,从而可以直接用于分析与制造。

有限单元法、优化设计、逆向工程设计、并行设计、虚拟设计、模态分析、计算机仿真以及以神经网络与模糊方法为代表的智能设计方法等先进设计与分析方法的涌现和发展。

随着计算机技术的发展,设计方式从传统的串行方式发展到并行方式。

实现了 CAD, CAPP, CAM, CAE 一体化。

⑥ 依赖于计算机技术的数据库技术的发展以及管理信息系统 (MIS)、产品数据管理 (PDM) 等系统的广泛应用,企业管理水平大大提高。

⑦ 网络技术的发展,缩短了企业之间的联系,可实现优势互补和资源共享,使得企业生产组织模式呈现较大的开放空间。

(2) 以设计理论为指导

受科学技术发展水平的限制,传统设计是以生产经验为基础,以运用力学、数学和回归方法形成的公式、图表、手册等作为依据进行的。随着理论研究的深入,许多工程现象不断升华和总结,成为揭示事物内在规律和本质的理论,如关于车身设计的计算几何、各种优化设计理论、模态分析理论、可靠性理论、疲劳理论、人工智能理论等。现代设计方法是基于理论形成的方法,利用这种方法指导设计可减小经验设计的盲目性和随意性,提高设计的主动性、科学性和准确性。因此现代设计是以理论指导为主、经验为辅的一种设计。

1.3 现代设计原则

设计原则是设计产品应满足的条件,也是对设计行为的约束。受设计水平、观念、体制等限制,传统设计所考虑的原则着眼于产品的功能和技术范畴。现代设计原则是传统设计原则的扩充和完善,而更强调设计面向产品生命周期,两者并无本质区别,可归纳出以下基本原则。

(1) 功能满足原则

保证产品功能是产品设计的首要原则。如果产品不具备要求的功能,设计就失去价值。因此满足功能是所有产品设计必须扼守的原则。

(2) 质量保障原则

保证质量是产品设计的另一重要原则。产品质量主要由性能和可靠性决定,这类原则主要包括以下几方面。

性能指标。指产品的各类技术指标,如汽车的最高车速、汽车百公里燃油消耗量、车身加工精度、传动系统运动精度等。先进的技术指标是实现高质量产品的前提。

可靠性。指产品在规定的条件和规定时间内完成规定功能的能力,如半轴的可靠性、后桥的可靠性等。产品具有可靠性能才有使用价值,因此性能的发挥依赖于可靠性。

强度原则。要求产品零件具有抵抗整体断裂、塑性变形和某些表面损伤的能力,如汽车变速器齿轮强度的设计、汽车驱动桥强度设计。

刚度原则。要求外载作用下产品变形在规定的弹性变形之内。如车架与车身的设计等。

稳定性。指产品在外载作用下能够恢复其平衡性。

⑥ **抗磨损性。**要求零件在规定时间内,材料的磨损量在规定值以内。如对汽车发动机缸

体和汽车轮胎的耐磨性要求。

⑦ 抗腐蚀性。要求产品在恶劣环境下，具有不被周围介质侵蚀的特征。

⑧ 抗蠕变性。要求高温环境工作的产品不发生蠕变或蠕变变形在规定值以内，如汽车发动机的缸体和活塞等。

⑨ 动态特性与平衡特性。指在动载荷作用下产品具有良好的抗振特性，以保证产品的平稳和低噪声运行以及旋转产品具有良好的静平衡和动平衡特性，如发动机曲轴。

⑩ 热特性。保证产品具有要求的温度大小、温度分布和热流状态，以及热应力、热变形在规定值以内。

(3) 工艺优良原则

指设计能够且容易通过生产过程实现，它包括以下内容。

可制造性。指利用现有设备能够制造出满足精度等要求的零件，且制造成本低，效率高。

可装配性。指零件能够装配成满足装配精度要求的部件和整机、整车，且装配成本低、效率高。

可测试性。指产品能够通过适当方法进行有关测试，以评估设计、制造和装配的技术水平。

(4) 经济合理原则

要求产品具有较低的开发成本和使用费用，如汽车发动机百公里油耗率等。

(5) 社会使用原则

考虑产品投放市场后的表现行为，包括以下内容。

环境友好性。保证产品尽可能少的产生废水、废气、噪声、射线等 符合环保法规 对生态环境破坏最小。环境友好性是可持续发展战略在设计中的重要表现。

② 环境适应性。适应使用环境的湿度、温度、载荷、震动等特殊条件。

人机友好性。满足使用者生理、心理等方面要求，使产品外形美观，色彩宜人，操作简单、方便、舒适，如车辆人机工程学就是实现人机友好的主要学术分支。

可维修性。使产品能够且易于维修，维修的停机时间、费用、复杂性、人员要求和差错尽可能最小。

⑤ 安全性。保证不对人的生命财产造成破坏。如主动安全、被动安全已成为汽车设计中被优先考虑的问题。

⑥ 可安装性。保证产品使用前安装容易、可靠，且安装费用最小。

⑦ 可拆卸性。考虑产品的材料回收和零件组件的重新使用。

⑧ 可回收性。考虑产品报废及回收方式。绿色生命周期设计是社会使用原则中最为耀眼的新技术。

1.4 产品设计过程模型与设计策略

产品设计包含许多创新活动及实现若干设计意图，为了使创新活动和设计意图容易实现，一般将其分解为上面介绍的各种原则。其中，有些原则及归类并不十分严格，设计时应根据产品特点选择部分原则，而在选择的原则中又分主要和次要原则。根据所选原则的不同，目前已形成许多针对性设计方法，如面向制造和装配的设计（DFMA）、面向环境的设计（DFE）、面向

拆卸的设计(DFD)等。

产品设计本身包含产品定义、概念设计、技术设计、详细设计四个阶段,又可进一步将其分解为更为详细的阶段,或将技术设计作为概念设计的一部分,而将设计过程分为三个阶段。

产品的设计过程模型不仅要研究设计过程的主要阶段及各个主要阶段的内容,而且要研究各主要阶段的工作顺序。近年来由于市场竞争,产品的生命周期越来越短,新产品不断涌现并代替老产品,为了适应这种要求,在设计过程各主要阶段工作顺序研究的基础上,出现了并行设计等新模型。

设计策略决定概念设计过程,不同的概念设计过程适用于不同类型的产品。各设计阶段已有不同的设计方法可供选择,新的设计方法还不断出现。

1.4.1 设计过程模型

企业竞争是围绕产品的时间 T、质量 Q、成本 C、服务 S、环境 E 几个因素进行的,如果认为服务 S 是质量 Q 的组成部分 时间 T、质量 Q、成本 C 环境 E 这四个因素都可能是企业选择设计过程模型时的支配因素。按选择支配因素的不同,把设计过程模型分为顺序过程模型(Sequential Model)、设计为中心的模型(Design Centered Model)、并行设计模型(Concurrent Definition Model)和动态过程模型(Dynamic Model)四大类。

(1) 顺序过程模型

传统的设计过程模型为顺序模型,如图 1-2 所示。企业选择该类模型的支配因素是为了保证产品的质量与降低成本。

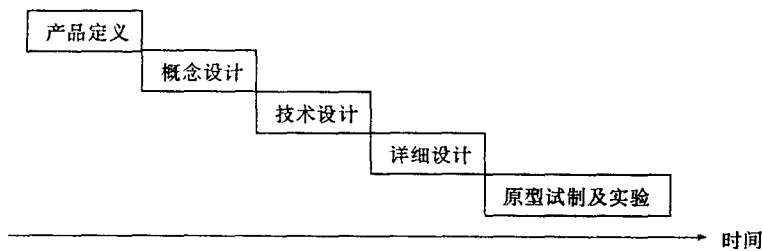


图 1-2 顺序过程模型

按这种模型,新产品设计在交给制造部门之前,按照图中顺序在企业的不同部门内完成。经过试验或后续的制造发现设计的不合理之处,再返回到设计的某个阶段,一直到满足设计要求为止。

(2) 设计为中心的模型

图 1-3 是设计为中心的模型。企业选择该类型模型的支配因素也是产品的质量与成本。与上述模型的不同点为:设计人员在设计阶段要更详细地考虑到制造(DFM, Design for Manufacture)、装配(DFA, Design for Assembly)、环境(DFE, Design for Environment)全生命周期的成本(LCC, Life-cycle Costing)等,使设计反复的过程尽可能短。

分析是该类模型的重要特征。有限元计算、运动学与动力学仿真、加工过程仿真、装配过程仿真等都是分析的内容。已有很多工具特别是软件工具可供选择。

(3) 并行设计模型

图 1-4 是并行设计模型。企业选择该类模型的支配因素是产品的质量及推向市场的时间。

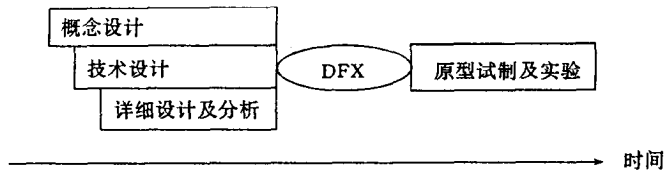


图 1-3 设计为中心的模式

该模型与设计为中心的模式的不同点为：该模型为小组工作方式，小组成员要具有不同的知识结构，要有产品开发的下游人员参加，为了共同的目的——尽快开发出新产品而共同努力。

(4) 动态过程模型

图 1-5 是产品的动态过程模型。与并行设计模型相比，其特点是各个设计阶段一起开始，小组之间的信息交流更加重要，因此需要更好的设计与过程的集成环境。企业选用这种模型的驱动力是产品推向市场的时间。目前仅有日本的某些企业采用该类模型。

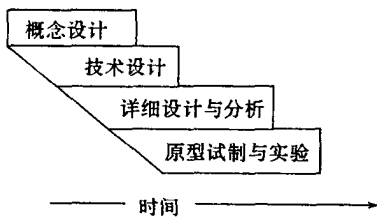


图 1-4 并行设计模型

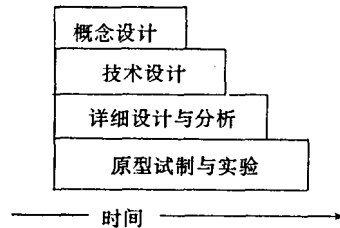


图 1-5 动态过程模型

表 1-1 是在对 6 家汽车公司、3 家航天公司调研的基础上，对采用不同模型优缺点的评价可供企业选择参考。

表 1-1 四种模型比较

| 项目 \ 模型 | 顺序过程模型 | 设计为中心的模式 | 并行设计模型 | 动态过程模型 |
|-----------|--------|----------|--------|--------|
| 适应性 | 低 | 低 | 低 | 低 |
| 设计的风险 | 低 | 中等 | 高 | 高 |
| 新设计的风险 | 低 | 中等 | 高 | 高 |
| 选择模型的支配因素 | 成本/质量 | 成本/质量 | 质量/时间 | 时间 |
| 时间 | 慢 | 中等 | 中等 | 快 |
| 成本 | 高 | 中等 | 中等/低 | 低 |
| 设计质量 | 低 | 高 | 中等 | 高 |

注：成本是指设计过程的修改所造成的投入。

1.4.2 产品设计策略

企业及研究院经常采用的产品设计策略可归纳为两种策略模式。

策略 1: 设计过程要产生多个可能的解，经过分析、比较与评价，确定一个较好的解，并基于该解来完成后续的设计内容。

这类策略依据了“以问题为中心 (problem-focused)”的设计思想，通过对问题（如用户需求）的抽象，产生一系列可能的概念，即多个解，经过评价确定一个解。该策略特别适用于新设

计，即产品或部件的核心技术采用了全新的原理。工程设计领域中的很多理论研究结果均适用于该策略，该策略可通过顺序过程等四种模型之一来实现。

策略 2：设计过程中只产生一个解，经过修改、完善与评价，如果该解是一个较好的解则进行后续的设计，反之，产生一个新解，直至找到一个较好的解。

第二类策略依据了“以产品为中心（product-focused）”的设计思想 即待设计产品的概念是在对已有产品的工作原理进行分析、总结的基础上提出来的。该策略特别适用于适应性设计及变参数设计。该策略也可以通过顺序过程等四种模型之一来实现。

一个产品一般由多个子系统组成，有些子系统为新设计，而另一些为适应性设计或变参数设计，因此，子系统的设计往往两类设计策略都要采用。

企业的设计人员往往按第二类策略开发新产品，他们认为这种策略即能体现时间竞争的要求，又能最大限度地体现他们以往的设计经验。而对过程设计的理论研究大都采用第一类策略进行，用这些理论成果去指导设计会更为有效。但由于企业的大多数设计人员不能跟踪理论研究的发展，或不愿意接受第一类设计策略，使得这些理论研究结果不能在新产品开发中得到广泛应用。

1.4.3 设计策略因应方法

无论采用何种策略，质量功能布置（QFD, Quality Function Deployment）都是实现设计意图的可选方法，并且可在设计的各个阶段选用。

QFD 最初是将用户需求与一组广义设计参数通过扩展的质量屋 EHOQ(Extended house of quality) 相联系，明确用户需求与广义设计参数间的关系，使设计一开始就有明确的目标。目前，QFD 已用于设计与制造的全过程的质量控制，如图 1-6 所示，也用于并行工程。QFD 是 20 世纪 70 年代由日本学者提出，首先应用于日本的造船业，之后是日本的汽车制造业。如丰田汽车公司采用该方法后推出新车型所需的时间缩短了 1/3。美国 1984 年开始应用 QFD，明显地缩短了新产品的开发周期。目前，在航空航天、动力设备和电力电子设备设计制造，甚至公园的方案设计都采用了 QFD 方法。

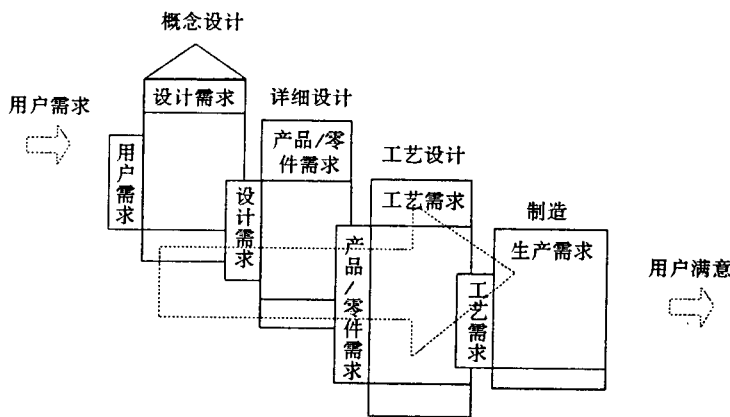


图 1-6 设计及制造过程中的 QFD

功能方法树有自顶向下及自底向上两种结构，前者适用于第一种设计策略，即用于产生多个设计方案，后者适用于第二种设计策略，即产生一个设计方案。第二种结构经过逐渐的完善，应该成为一种企业更容易接受的结构。

1.5 设计理论、方法与设计体系结构

设计理论是对产品原理和机理的科学总结。设计方法是使产品满足以及判断产品是否满足设计原则的依据。现代设计方法是基于设计理论形成的，因而更具科学性和逻辑性。但一些方法还有待完善和发展，所以现代设计方法还不能完全取代传统设计方法，一些行之有效的经验方法目前仍在广泛使用，它们仍是现代设计方法的重要组成部分。

1.5.1 现代设计方法

现代设计方法按其涉及的领域和内容，大体上可有以下几种分类方法。

(1) 实名称谓法

这是一种按其实质内容与范畴进行分类的一种方法。主要有：系统分析方法、价值工程方法、有限元法与边界元法、最优化设计法、可靠性设计法、动态设计法、绿色设计方法、并行设计方法、虚拟设计方法、逆向工程设计方法、稳健设计方法、机电一体化设计法、外观设计方法、计算机仿真与动态模拟方法、抗磨损设计法、抗疲劳设计法、抗腐蚀设计法、现代测试与信号分析技术、理论与实验模态分析方法、故障诊断方法、模块化设计方法、相似设计和模型实验方法等。

(2) 计算机辅助设计法

如果从设计手段出发来论述设计方法的演化，可以清楚地看到完成设计的工具和技术，近年来发生了质的变化。特别是计算机技术、软件技术和数据库技术的发展，对设计手段起到了变革性的作用，以计算机为工作平台的设计工具正在广泛取代传统的图板，计算机辅助设计正在成为现代设计的主要手段，它使设计效率、设计水平和设计质量得到了全面的提高。计算机辅助设计可概括如下几个方面。

1) 计算机辅助绘图

计算机辅助绘图的速度大大高于人工绘图，且电子图纸的修改、存储和管理方便，可明显提高设计效率和减轻人的劳动强度。

2) 计算机辅助几何建模

在计算机内建立产品零件的实体模型或曲面模型，并实现零件的制造、装配和干涉检查等功能。目前，几何建模已逐渐成为三维设计的主体。

3) 工程分析与计算

很多现代设计方法都涉及复杂计算，这些计算通过人工或计算器无法完成。高性能的计算机通过各种 CAD、CAE 软件能使这些方法得以实现。

4) 智能设计与专家系统

将人工智能、神经网络、模糊理论等技术引入工程设计并开发出具有专家指导功能的软件—专家系统，可以提高设计者的决策判断能力，加快设计速度，减少设计失误。

5) 数据库管理系统

数据库是设计数据的集合。利用数据库管理系统可对设计数据快速、有序、合理地存储、

查询和控制，从而提高设计的水平和效率。

(3) 分段设计方法

不同的设计阶段对设计方法的需求不尽相同，并因此产生了一些新的设计方法。针对某一个具体设计任务的具体设计阶段，合理选用设计方法是一个十分重要的问题。表 1-2 统计出了不同设计阶段的选用情况。

1.5.2 现代设计的体系和结构

前面介绍了现代设计特征、设计原则、设计过程模型与策略以及设计方法。基于这些论述构造出现代设计的结构体系，如图 1-7 所示。

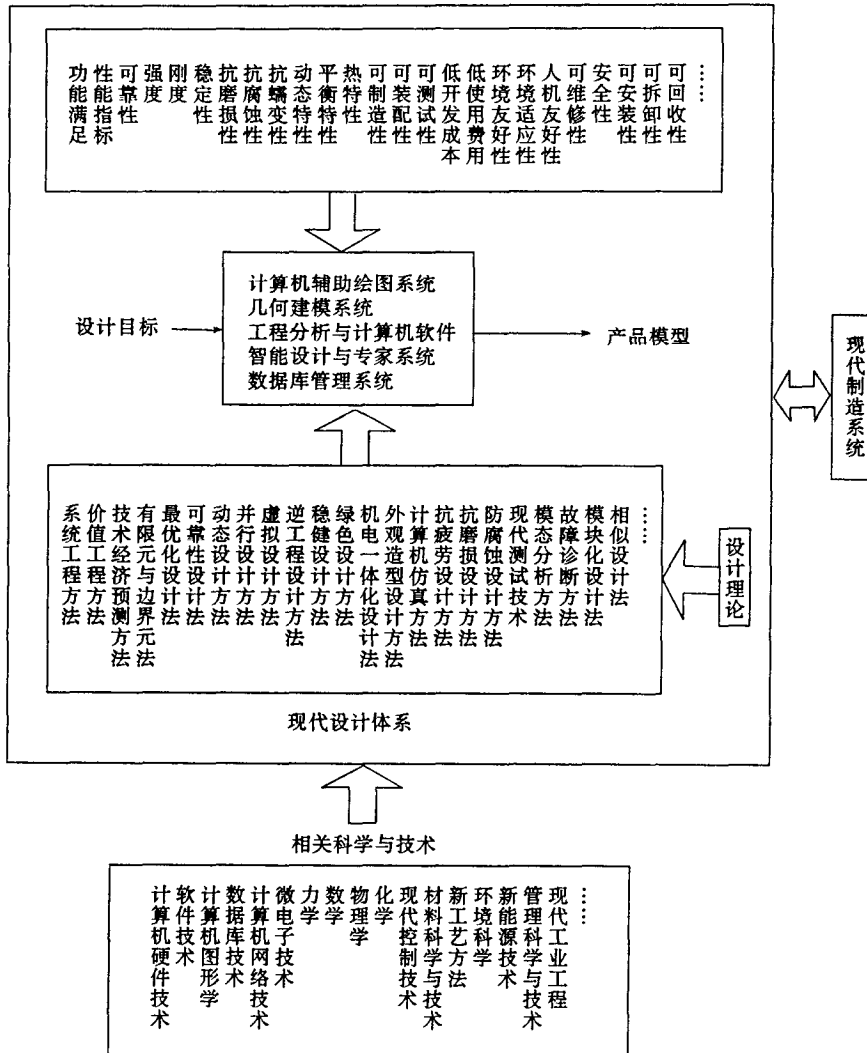


图 1-7 现代设计的结构体系

在图 1-7 中，设计目标是根据社会需求制定的指导，通过设计手段形成产品模型。由于设

计与制造趋于一体化，所以制造系统对设计的反作用增大。其他相关学科与技术的发展，对现代设计也会产生很大的影响。

随着科学技术的发展和社会进步，人们对产品的要求将越来越高，理论研究会进一步深入，设计方法会进一步合理和完善，新的设计理论和方法将会不断出现，设计手段也会进一步提高和丰富。因此应用动态的、开放的观点理解现代设计的结构体系。

表 1-2 常用的设计方法

| 设计过程 设计方法 | 产品定义 | 概念设计 | 技术设计 | 详细设计 |
|--------------|------|------|------|------|
| 文献及专利检索 | ① | ① | ② | ② |
| 趋势分析 | ① | | | |
| 市场分析 | ① | | | |
| 需求分析 | ① | | | |
| 质量功能布置 | ① | ① | ① | ① |
| 性能规格说明 | ① | | | |
| 规格说明条目 | ① | | | |
| 目标树及功能分解 | | ① | | |
| 功能结构 | | ① | | |
| 功能方法树 | | ① | | |
| 设计目录 | | ① | ② | ② |
| 形态学矩阵 | | ① | | |
| 公理设计 | | ① | | |
| 可行性预测 | | ① | | ① |
| 评价矩阵 | | ① | | |
| 性能评价 | | ① | | ① |
| 产品生成 | | | ① | ① |
| 价值工程 | ② | ② | ① | ② |
| 稳健设计 | | | ② | ① |
| 可靠性分析 | | ③ | ② | ① |
| 快速原型与试验 | | | | ① |

注：①首选；②次选；③偶尔选择。

1.6 图形与工程信息交换标准

1.6.1 图形与工程信息交换标准

现代设计技术及计算机技术的飞速发展形成了许多异构工作平台和环境，针对这些异构环境，要实现产品的数据交换与共享，就必须建立不同系统间的信息交换标准。当然，任何标准的发展都是和工业需求密切相关的。归纳起来与产品定义数据有关的状况主要如下。

① CAD/CAM/CAE 系统应用大量增长；

大量以数字表示产品定义数据；

数据格式专有；

④ 同一项目中有多种 CAD/CAM/CAE 系统；

应用数据的观点各不相同。

这样一来对产品数据交换提出了较高的要求，要求数据完整，传输可靠，有效。据此，一些国家有针对性的制定了一些信息交换标准，有些发展成为国际标准。例如 IGES(Initial Graphics Exchange Specification)、STEP(Standard for the Exchange or Product model data)、DXF(Drawing Exchange File 等)。

一般 CAD/CAM/CAE 系统间信息交换有三种方式，如图 1-8、图 1-9、图 1-10 所示。第一种方式特点是原理简单，转换接口的程序易于实现，但当子系统较多时接口程序增多，并且当一个系统的数据结构发生变化时引起的修改也增多。第二种方式是进行 IGES 图形数据交换的构思基础，其目的是减少和简化各系统之间数据转换接口程序的编写，所有系统的数据传输针对标准的数据格式，所有的前后置处理程序的编写都非常类似。由于以上两种方式都是数据交换接口，因此效率不高，也不便于集成。第三种方式采用统一的产品数据模型，并且采用统一的数据管理软件来管理产品数据。各系统之间可以直接进行数据交换，而不是将产品信息转换为数据，再通过文件来交换，这就大大提高了系统的集成性。这种方式是 STEP 进行产品信息交换的基础。

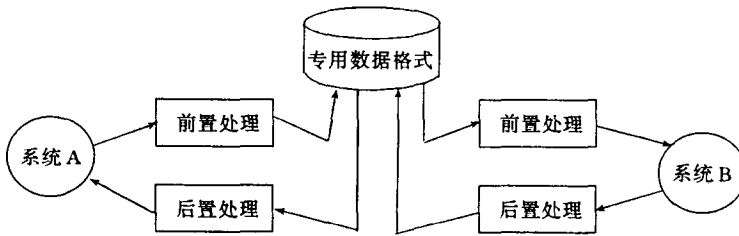


图 1-8 通过专用数据格式的文件交换产品信息

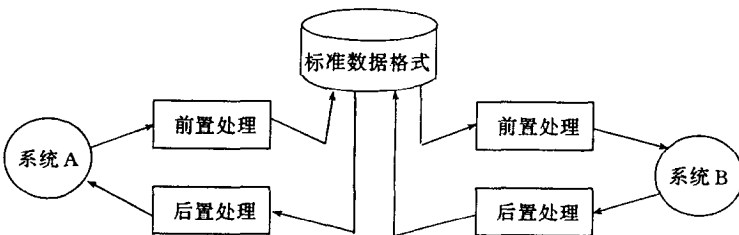


图 1-9 通过标准数据格式的文件交换产品信息

1.6.2 STEP 标准

STEP 是国际标准组织 ISO 提出的关于产品数据定义和交换的标准。STEP 为 CAX 信息集成表达提供了一套方法和理论，其中包括模型描述方法和语言、集成信息资源、应用协议的

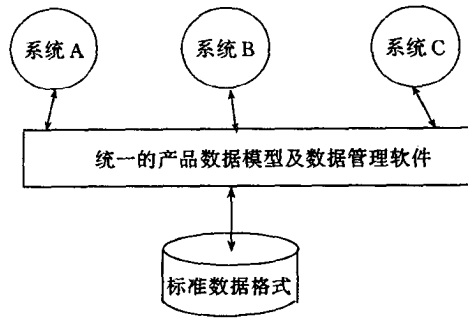


图 1-10 通过统一的产品模型交换信息

开发、一致性测试方法以及实现数据交换三种模式（交换文件、应用编程接口和数据库实现）。STEP标准的制订主要有两个目的：一是产品数据表示，一是产品数据共享与交换。

(1) STEP 标准的特点

完整地表达产品数据，并支持产品生命周期的各个环节；

独立于任何 CAX 系统；

具有多种实现形式；

引入形式化数据规范化语言 EXPRESS，保证了数据描述的精确性和一致性；

三层次结构。在三个层次上将产品信息的表达和应用同数据交换的实现方法区分开来，STEP 的三层次的划分见图 1-11。STEP 的层次结构思想来源于数据库系统设计的外模式、内模式和存储模式技术。其中最上层是应用层，包括应用协议及对应的抽象测试集，面向具体应用。第二层是逻辑层，包括集成资源，是一个完整的产品模型，从实际应用中抽象出来，与具体实现无关。最底层是物理层，包括实现方法，给出在计算机上的实现形式。

(2) 描述语言

1) EXPRESS 语言

EXPRESS 语言是根据 STEP 标准的要求制定的，被设计成一种与具体实现无关的，能为人所理解并能被计算机处理的形式化语言。这种面向对象的语言，对产品数据描述时，保证描述的一致性及消除多义性。它吸收了其他语言（如 C++、C、Ada、Pascal、SQL 等）的功能特点。这种形式化语言既具有可读性，使人们便于理解它的语义，又具有能被计算机理解，易与高级语言建立映射关系，有利于计算机应用程序和支撑软件的生成。鉴于 EXPRESS 语言是一种形式化的数据规范语言，不是程序设计语言，不包括输入输出、信息处理、异常处理等语言元素。但 EXPRESS 在传统程序设计语言的基础上吸收了面向对象的技术特性，形成了具有强大表达能力又易于描述产品数据的数据类型。其中包括：简单数据类型、聚合类型、命令数据类型、构造数据类型、实体数据类型和广义数据类型等。

2) 中性文件实现方式

上面提到 EXPRESS 语言描述的产品模型的概念模式，与具体的实现方式无关。但产品数据的交换最终必须通过某种形式实现，例如系统间的交换文件、系统共享数据库等。中性文件实现方式是 STEP 一种比较方便、简洁、成熟的实现方式。中性文件的格式是统一的，只要传递数据的模式相同，不同系统通过各自的处理器接口可以产生、读入 STEP 中性文件，实现数据的交换。

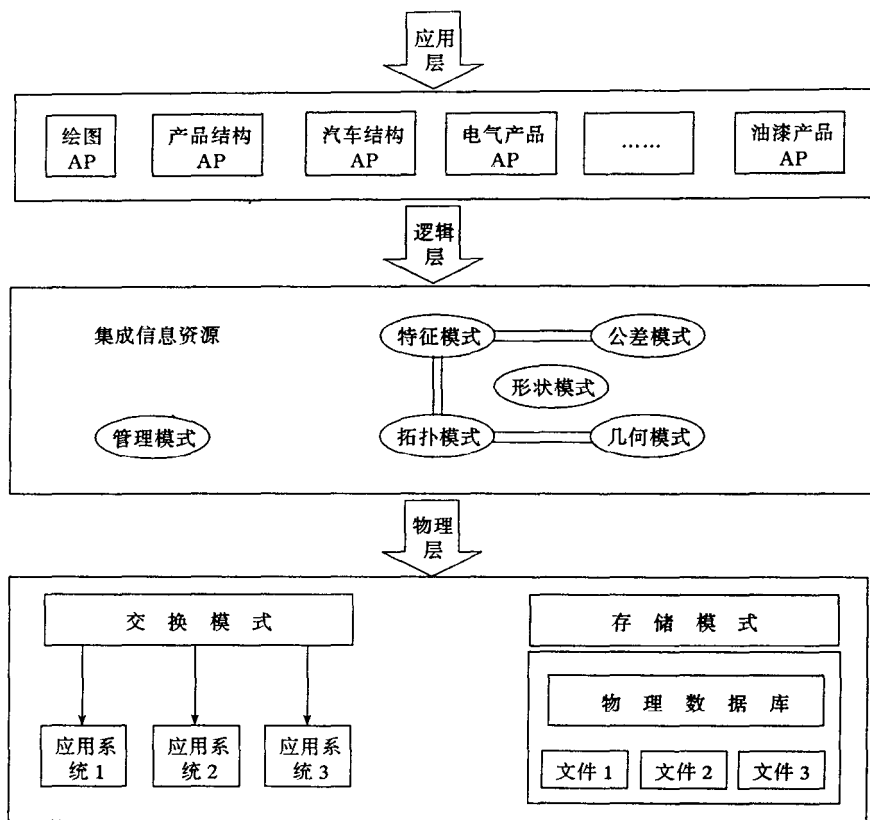


图 1-11 STEP 标准的三层次结构

STEP 中性文件实现方式定义了三部分内容：中性文件格式、EXPRESS 语言描述到中性文件的映射规则、中性文件数据交换模式。

1.6.3 IGES 标准

IGES (Initial Graphics Exchange Specification) 标准是一种成熟的数据交换标准，是美国国家标准局 (ANSI) 于 1979 年制定的，现已发展成为国际通用标准。

(1) IGES 文件格式

标准的 IGES 标准包括固定长 ASC II 码、压缩的 ASC II 码及二进制三种格式。固定长 ASC II 格式的 IGES 文件每行为 80 个字符，整个文件分为五段。段标识符位于每行的第 73 列，第 74—80 列为用于每行的段序号。序号都以 1 开始，且序号连接不间断。这些序号对应各自段所处的行序号。

开始段 (代码 S) 该段是文件的注释，如图形文件的最初来源及生成该 IGES 文件的相同名称等。该段有固定格式记录行数不限，但至少有一行记录。

全局参数段 (代码 G) 主要包括前处理器的描述信息及处理该文件的后处理器所需要的信息 (全局参数)。全局参数以自由格式输入，用逗号分隔参数，用分号标识结束一个参数。

目录条目段（代码 D）该段主要为文件中的实体提供一个索引，并为文件中的每个实体直接提供属性值或指向这些值的指针。文件中每个实体都有一个目录条目，大小相同。每个条目由 8 个字符组成一域 共 20 个域 占用两行。

参数数据段（代码 P）该段主要以自由格式记录与每个实体相连的参数数据，第一个域总是实体类型号。参数行结束于第 64 列 第 65 列为空格 第 66~72 列为含有本参数数据所属实体目录条目的第 1 行的序号。

结束段（代码 T）该段有一个记录，并且是文件的最后一行，它被分成 10 个域 每个有 8 列 第 1~4 域及第 10 域的内容分别为各段的类型码及响应各段记录的总行数。

(2) IGES 的前后处理程序

IGES 是一中性文件 将某种 CAD/CAM 系统的输出转成 IGES 文件时需经前置处理程序处理，IGES 文件传至另一种 CAD/CAM 系统时则需经后置处理程序处理，见图 1-12。一般的使用要求如下。

各种应用系统必须具备相应的前后置处理程序，以使用 IGES 文件传递产品的信息。

每一系统必须与有关的系统订有应用协议（application protocol）。由于每个系统采用的 IGES 的规范仅是它的一个子集。如果子集的范围不同，在数据交换中就会出现丢失、不畅现象。在 IGES 的推广中，由于子集的不同而产生的所谓风味（flavor）问题经常困扰用户 而不得不在前后置处理程序之外再加上处理“flavor”的程序。因此，通过应用协议明确有关子集的范围是非常重要的。

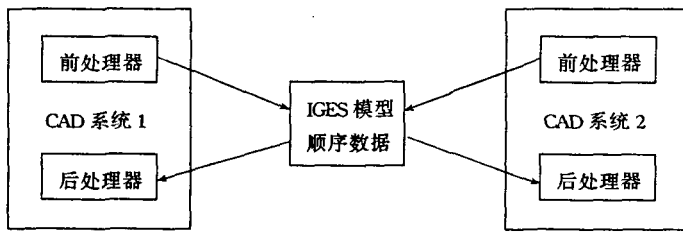


图 1-12 IGES 文件传递产品的信息框

1.6.4 DXF 标准

DXF(Drawing Exchange File)是 Autodesk 公司的一种图形信息交换文档。DXF 文件是一种 ASC II 码中性文件格式 在 AutoCAD 图形编辑环境下 可以用 DXFOUT 命令生成 也可以用 DXFIN 命令读入。三维动画软件 3DS MAX 也可以输入输出 DXF 文档。许多微机造型和渲染软件都提供了 DXF 接口。所以，它是一种事实上的业界标准。

(1) DXF 的总体结构

DXF 格式采用一种标记数据的图形信息表示方法。标记数据是指在每个数据元素前都带一个称为组码的整数。组码的值表明了其后数据元素的类型，也指出了数据元素对于给定对象或记录类型的含意。组是 DXF 文件的基本单元，每个组在 DXF 文件中占两行，其首行便是组码。第二行是与组码关联的值（组值），它可以为整型、浮点数值或字符串型。组码除了用以表明组值数据类型外，还用于指明该组的用途。

DXF 文件总体结构可分为如下五段。

标题段 (HEADER) 包括与图形相关联的变量的设置。其中的每一个变量都通过组码 9 给出变量名, 并由其后的组码提供变量值。

表段 (TABLES) 由带有 TABLE 标识的组码 0 引入。其后是标识具体表 (LAYER, LTYPE, STYLE, UCS, VIEW 等) 的组码如组码 2、组码 5、组码 70 等。

③ 图块段 (BLOCKS) 包括所有的块定义。

实体段 (ENTITIES) 包括了对图中实体图元的具体描述。它是 DXF 文件的核心部分。

文件结束标志 (EOF)。

(2) DXF 的实体段结构

在应用程序中开发 DXF 接口时, 最关心的是实体段的数据。比如在利用 OpenGL 开发场景系统时需导入 DXF 文件。由于 OpenGL 只关心图形文件中的图形几何信息以及属性数据, 在 DXF 文件中 OpenGL 所要读取的信息全包括在实体段。所以在设计调用程序时, 只需读取实体段中的数据即可。

实体是 AutoCAD 预先定义的图元。实体段记录了每个实体的名称、所在图层的名字、线性、颜色、基面高度、厚度以及相关的几何数据。常用实体格式与描述实例如表 1-3~表 1-6 所示。

表 1-3 AutoCAD 中的实体类型

| 实体类型名 | 说明 |
|-----------|-------|
| POINT | 点 |
| LINE | 直线 |
| CIRCLE | 圆 |
| ARC | 圆弧 |
| TRACE | 宽线 |
| SOLID | 实体 |
| TEXT | 文字 |
| SHAPE | 型 |
| 3DSOLID | 三维实体 |
| 3DFACE | 三维面 |
| DIMENSION | 标注 |
| POLYLINE | 多义线 |
| VERTEX | 多义线顶点 |
| SEQEND | 子实体结束 |
| INSERT | 插入的块 |
| ATTDEF | 属性定义 |
| ATTRIB | 块定义 |

表 1-4 实体段结构

| | |
|----------------------|--------|
| 0 SECTION | 实体段的开始 |
| 2 ENTITIES | |
| 0 (实体名, 如 LINE 等) | |
| 8 (图层名) | |
| 6 (线性名) | |
| 62 (颜色号) | |
| 38 (基面高度) | |
| 39 (厚度) | |
| | |
| 0 (实体名, 如 ARC 等) | 新的实体开始 |
| (实体数据) | |
| | |
| 0 (句柄) | 实体段的结束 |

表 1-5 POINT 点描述

| | |
|------------------|---------|
| 0 CIRCLE | 开始 |
| 8 mylayername | 图层 |
| 10 | 圆心 X 坐标 |
| 2.5 | |
| 20 | 圆心 Y 坐标 |
| 5.0 | |
| 40 | 半径 |
| 2.0 | |

表 1-6 CIRCLE 圆

| | |
|------------------|------|
| 0 POINT | 开始 |
| 8 mylayername | 图层 |
| 10 | X 坐标 |
| 6.0 | |
| 20 | Y 坐标 |
| 4.0 | |
| 0 | 开始 |
| POINT | |
| 30 | Z 坐标 |
| 5.0 | |

1.6.5 STL 标准

STL 是描述三角网络模型的一种文件格式，是目前快速成型领域中事实上的标准文件格式。这种文件格式用三个顶点的坐标值及所在平面的指向物体外部的矢量来表示一个三角片。

1.7 常用软件系统介绍

1.7.1 软件系统的概念

机械产品软件系统是指借助计算机完成产品设计和制造任务而专门编制的成套计算机应用程序，包括计算方法、图形显示、数据存储与管理。

早期的 CAD 系统是一个计算机化的绘图系统，CAM 系统是数控加工编程系统。目前的 CAD 系统则将工程分析 (CAE)、制造过程和工程管理结合起来，通过集成化的产品设计 / 工程管理数据库和交互方式操作形成强大而又灵活的系统功能，包括建立三维几何模型、尺寸标注、局部修改、产生彩色明暗图、剖切和生成各种视图、装配图分解、连接多种工程分析和加工、测量模块，实现加工动态仿真等。CAD/CAM/CAE 系统已经广泛应用于工程设计、分析和制造各个领域。

利用 CAD/CAM/CAE 系统提供的开发工具，用户可以自行开发和扩充某些特殊功能，以满足不同专业领域的产品设计和制造要求，使系统变得更加方便实用。为实现 CAD 系统这种二次开发功能，CAD 平台必须具有良好的开放性和开发接口。

1.7.2 Pro/ENGINEER 软件概述

Pro/ENGINEER(以下简称 Pro/E 软件)是一个 CAD/CAE/CAM 一体化的软件系统，其强大的产品造型功能，使它在产品几何造型、快速成形、NC 加工等方面颇受用户青睐。Pro/E 软件由美国参数技术公司 (PTC) 开发而成。它采用统一的数据库，集三维实体和曲面造型、装配造型、三维工程图、数控加工、有限元分析、机构运动仿真、钣金设计、加工和装配工艺过程设计

及模具设计等功能于一体，特别是其全参数化和全相关功能强大的实体造型技术，精悍、统一的数据库和能支持所有 UNIX 平台和 Win 95, Win 2000。Win/NT 平台的特点，使它成为市场占有率最高的 CAD 软件系统之一。

(1) Pro/E 软件系统的主要特点

1) 实体造型(SolidModeling)

在产品的设计过程中,Pro/E 软件首先是基于三维实体的而非传统的孤立的二维点、线、面的平面描述 其次在 Pro/E 软件中,模型是由一些工程特征雕砌 Sculpted 而成的 而非绘制(Drawn)而成的。它可以在完成实体造型后再按照严格的投影关系产生三视图和其他需要的辅助视图。因而生成的二维工程图也是无几何错误的。

2) 参数化特征造型(Feature-based Parametric Modeling)

特征造型被公认为是目前几何造型的发展趋势。实体模型由一些工程特征组合而成。该系统的 Pro/Feature 模块提供了拉伸、旋转、扫描、过渡、孔、槽、扭曲、圆角、倒角、抽壳、拔模斜度、自由变形、管道、变截面扫描和扫描性过渡等众多的特征和特征构造方法。另外,Pro/E 软件还允许用户自己定义特征(User Define Feature—UDF),用户可以通过它建立自己的特征库。模型是由一些工程特征组合而成,而特征自身及与其他特征之间必须加上一定的参数约束才能生成工程所需要的模型。Pro/E 软件系统在这方面实现了全参数化设计的概念,即通过完备而准确的参数和数据来驱动实体。Pro/E 软件还提供了由算术运算、逻辑运算符、标准数学函数及曲线关系建立参数符号、尺寸、公差以及字符间关系式的方法,设计人员可以通过命令行形式或者关系文件的形式输入信息、修改零件特征形状和位置的参数约束关系,以得到所需的模型。

3) 全相关性(Full Associativity)

Pro/E 软件系统各模型建立在一个真正统一的数据结构上,各模块之间是全相关的。例如该系统处理三维实体、二维工程图、截面图以及在分析、仿真、加工、零件的工艺流程、总装配等各类数据时是严格一体化的,设计人员可以在任何一个环节上对不满意的模型尺寸进行修改,而不必像其他一些此类系统必须返回到产品设计中才能修改,同时修改后的尺寸都会反映到从设计到加工的各个过程,以确保所有零件和多个环节的数据一致性。

(2) Pro/E 软件系统主要模块

一般用于构造模型的 CAD 软件系统有较强的三维造型功能,这主要是实体造型(Solid-Modeling)和曲面造型(Surface Modeling)功能,Pro/E 软件具有优于同类软件产品的较强的实体造型和表面造型功能,可以构造非常复杂的模型,与产品设计相关的 Pro/E 软件的主要模块有特征造型、曲面造型、工程绘图和 Pro/Moldesign 等模块。

1) 特征造型模块

Pro/E 软件的 Pro/Feature 的特征造型功能,提供以下一些主要的结构特征。

延伸体(Protrusion)在现有特征上利用各种生成方法增加材料而得到实体;

切槽(Slot or Cut)通过在实体上切除一个封闭截面(Slot)或者一个非封闭截面的槽(Cut)特征来创建模型;

孔(Hole)在实体上开直圆孔或任意变截面的通孔、盲孔等孔特征;

轴(Shaft)在实体上延伸出直轴或任意变截面的一定长度的轴特征;

倒圆角(Round)在实体的边界上倒各种形状的圆角;

⑥ 倒角 (Chamfer) 在实体的边界或尖角上倒直角；

⑦ 抽壳 (Shell) 对一个实体进行规定厚度抽壳。

另外，还有创建拔模斜度 (Tweak)、缩颈 (Neck)、法兰 (Flange)、筋 (Rib) 和三维管道 (Pipe) 等多种工程技术人员常用的特征。对上述诸多基本结构特征，Pro/E 软件还提供了多种构造方法，如拉伸 (Extrude)：一平面封闭截面 (Section) 沿其法线方向拉伸一定距离而得到的实体；旋转 (Revolve)：一平面封闭截面 (Section) 绕某一轴线旋转一定角度而生成实体；扫掠 (Sweep)：一截面沿一条轨迹线按一定规律运动而生成实体；过渡 (Blend)：在多个平行截面之间生成光滑和非光滑过渡实体；高级造型方法 (Advanced) 通过变截面扫掠、旋转过渡、螺旋、扫掠过渡、自由变形及由曲面生成等高级方式来构造形状非常复杂的实体。

2) 曲面造型模块

利用 Pro/Surface 曲面造型模块，可使产品实体模型设计具有更为美观、光顺的外观，大大丰富了纯实体造型的功能，曲面的构造方法除上述一些实体构造方法以外，Pro/E 软件还提供了以下一些构造方法。a. 平面轮廓面 (Flat)：由一条封闭的平面曲线构成曲面；b. 偏移曲面 (Offset)：由原始曲面偏移一个厚度值构成曲面；c. 倒圆曲面 (Fillet) 给一定半径的圆弧段或不同半径值圆弧段与两原始曲面相切；并沿其交线方向运动而生成圆弧型过渡面；d. 拔模曲面 (Draft)：由一曲线生成具有给定拔模斜度的曲面；e. 拟合曲面 (FromFile)：由文件或给定一组有序点，生成曲面；通过不同类型曲面特征的组合而构成更加美观的外表面。

3) 工程绘图模块

Pro/E 软件系统的绘图模块 Pro/Drawing 是用于工程绘图的完整工具，可提供装配图和单个零件图的绘制、详细设计及文档方面的功能，该模块有以下主要功能。

利用装配模型或零件模型的实体自动生成所需的各个视图；

尺寸可以自动标注，灵活定义、修改、编辑，以及标准文字、形位公差，加工、焊接符号和注释等功能；

可灵活方便地产生材料清单 (BOM)；

可生成装配模式的爆炸图及各种形式的图文报表 (Report)。

4) Pro/Moldesign 模块

该模块为模具设计师提供工具，当零件设计好后，利用参考零件可以很方便地设计用于制造该零件的模具，生成模具的型芯和型腔，并产生最终的零件和完整的模具装配模型。

5) 其他模块

它的 Pro/Verify 模块是一个强有力的分析工具，在用快速成形方法制成成品后，利用自动检查设备 (如激光测量机) 对成品进行检查 取得数据 再与 Pro/E 软件的设计模型进行比较，通过比较制成品和原始实体模型来快速检查复杂件产品的制造精度。在仿制产品时，Pro/CMM 提供了用坐标测量机对已有的产品实体进行扫描，并将数据转入给 Pro/E 软件的三维模型模块。在接口技术上，其 Pro/Interface 模块提供了多种标准接口，如 IGES, STEP, STL 等可以方便转化成为逆向工程、并行工程、快速成形系统的数据输入。

1.7.3 UG II 软件

(1) 软件概况

UG II (UNIGRAPHICS II) 是美国麦道公司下属的麦道资讯系统部 (Mc Donnell Douglas