

第 1 章

数字化设计综述

1.1 产品的数字化开发内容

产品的数字化开发内容主要包括：数字化定义（Digital Product Definition, DPD）、数字化装配（Digital Assembly, DA）、数字化仿真分析（Digital Simulation & Analysis, DSA）和数字化加工（Digital Manufacturing, DM）。

1.1.1 数字化定义

全生命周期的产品数字化定义模型包括产品几何信息和非几何信息。几何信息包括产品的实体建模、特征建模等三维模型数据；非几何信息包括产品结构树（BOM）、设计文件、计算报告、工艺文件和 NC 程序等。为便于产品全生命周期各阶段信息管理和共享，必须建立一个从整个产品到部件、零件的产品结构树，通过定义产品名称、类型、生成方式、存储方式等，以实现与产品结构树的对应。这种关系模型由产品结构树（BOM）来建立。

1.1.2 数字化装配

产品数字化装配是在产品数字化定义的基础上利用计算机技术仿真模拟产品的装配过程。它主要用于产品开发过程中的装配干涉检查、装配及拆卸工艺路径规划等。采用数字化装配技术可以有效地评价产品的可装配性，减少因设计原因造成的更改或返工，改善产品可装配性，显著降低研制成本，缩短研制周期，提高竞争能力。通过产品数字化装配协调结构设计和系统设计，检查零件安装和拆卸情况。数字化装配技术涉及特征技术、仿真技术、计算机可视化技术、知识工程、CAD/CAM 系统集成技术等多个领域。

1.1.3 数字化仿真分析

数字化仿真分析是对数字模型进行仿真，获得与物理系统有相似特性的仿真结果。对复杂的系统，可以通过计算机对系统的数学模型进行研究，根据模型设计系统中变量的变化，获得系统输出变量特征的仿真结果。

1.1.4 数字化加工（虚拟加工）

可加工性是需要在一个产品设计被认为可行以前被考虑的。零件设计的任何加工缺陷都会导致反复设计和昂贵的制造成本（模具成本、工艺成本等方面）。采用计算机模拟实际加工时的路径和轨迹，在设计阶段即考虑产品的可加工性，这样可以有效地提高设计效率，降低制造成本，提高产品质量。

1.2 产品的数字化开发过程

未来数字化技术将应用于产品开发的全过程，目前数字化技术主要应用于概念产品的数字化造型、数字化仿真与分析、数字化装配、虚拟样机、虚拟环境下的人机交互性实验、虚拟制造等环节。目前数字化技术在方案的构思与评价方面还不成熟，数字化技术的智能化程度普遍不高。

面向全生命周期的数字化设计技术如图 1-1。

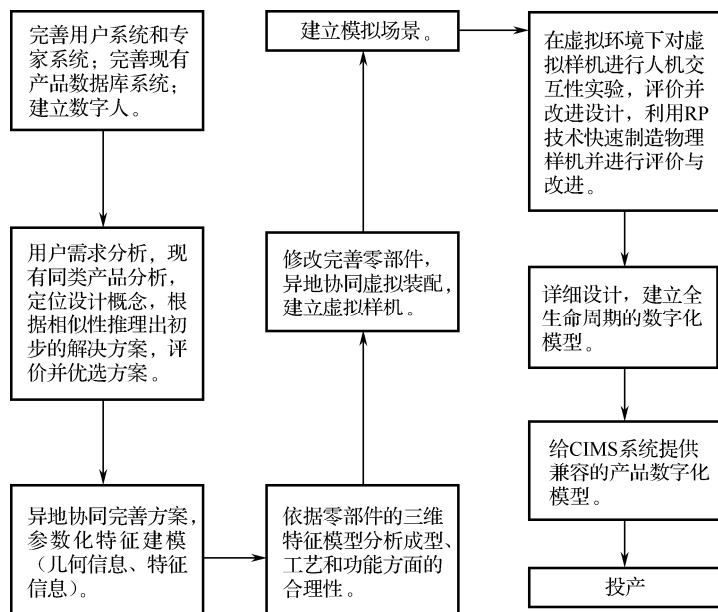


图 1-1 面向全生命周期的数字化设计技术

这样的数字化产品开发过程并不是线形的，而是循环往复的，经过数字化辅助概念设计、虚拟装配、虚拟样机、虚拟实验、详细设计、虚拟制造，直至投产。

以上利用数字化技术辅助开发产品的过程，可以通过网络技术使异地设计师、工程师协同工作，使产品的设计开发并行进行（即并行设计），有效地提高设计效率。这一点对于协调正在兴起的小企业全球制造联盟有重要意义。

并行设计概念实际上蕴涵了双层含义：设计对象（子对象）的并行与设计过程的并行。在当前 CAD 领域，前者主要研究复杂设计对象的分解与并行开展，要求复杂产品设计中不

同地理位置多个学科人员之间互相协作,达到分布式资源合理利用,实现网络化协同模式,例如,多 Agent 设计系统和基于网络的远程协同设计等;后者着重关注设计进程的紧凑性,即设法使得各设计阶段尽可能地压缩、交叠、并行开展,要求各部门尽量协调,尽可能地在同一或者近乎一致的时间里启动不同的工作内容,从而使得产品的开发周期最短,成本最低。设计活动(任务)的划分粒度是并行设计的关键之一。

数字化技术辅助产品开发的核​​心就是建立面向全生命周期的数字化模型。

CAD/CAM 的应用不仅要面向设计创新和过程创新,更要强调信息的集成与管理,产品数据管理技术可以有效管理与产品相关的所有信息,如设计说明书、图纸、工艺文件、技术规范、材料清单(BOM)等,还包括与产品开发相关的过程,如人员组织、工作流程、信息的审批和发放等。此外,与 CAX(CAD/CAE/CAM/CAPP)等软件的集成以及系统权限设计,为企业信息和数据的安全提供了有效的保障。PDM(产品数据管理)技术的实施使产品开发的各个部门能协同工作,实现了数据的共享。ERP(企业资源信息管理)的基本思想是将企业的业务流程看作是一个紧密联接的供应链,在 MRP II(制造资源计划)的基础上,增加了质量控制、运输、分销、售后服务与维护、市场开发、人事管理、实验室/配方管理、项目管理、融资投资管理、获利分析、经营风险管理等功能,并将这些功能集成在企业的供应链中。

1.3 产品数字化开发的特点

数字化产品开发具有如下的显著特点与优势:

- (1) 面向装配;
- (2) 面向产品生命周期;
- (3) 具有统一的数学模型;
- (4) 与自动化设计技术和数据管理技术相结合;
- (5) 实现了并行设计与协同装配。

1.4 现代产品开发技术的发展趋势

随着技术的进步和市场竞争的日益激烈,产品的技术含量和复杂程度在不断增加,而产品的生命周期不断缩短。因此,缩短新产品的开发和上市周期就成为企业竞争的重要因素。在这种形势下,在计算机上完成产品的开发,通过对产品模型的分析,改进产品设计方案,在数字状态下进行产品的虚拟试验和制造,再对设计方案进行改进或完善,这样的产品数字化开发技术变得越来越重要。

目前产品开发技术呈现出以下趋势:

(1) 数字化。它包括数字化定义、数字化装配、数字化仿真分析、数字化加工等内容,其中数字化定义是现代产品设计方法的关键技术之一。

(2) 并行化。通过网络技术使异地设计师、工程师协同工作，使产品的设计开发并行进行，有效地提高设计效率。

(3) 智能化。将知识工程和计算机辅助设计理论相结合，不仅能用实物的几何特征参数控制产品模型，还能将设计人员在设计过程中采用的设计思想、准则、原理等以显性的知识表达出来，其比传统产品建模技术更能体现产品特点，更适应现代设计的需要。

(4) 集成化。支持产品生命周期全过程的综合性设计与开发，是 CAD、CAM 和 CAPP (Computer Aided Process Planning) 系统的集成。

1.5 数字化设计系统的构成

数字化设计系统是由硬件和软件两部分构成，如图 1-2 所示。一般地说，硬件是数字化设计的基础，软件是数字化设计的核心。在硬件上进行的设计与计算工作是通过软件来实现的。数字化设计系统中的硬件包括计算机、存储设备、输入设备、输出设备、图形显示器及通信设备等。数字化设计软件系统包括：系统软件（操作系统软件、编译处理软件、数据库管理软件、网络通信软件等）、支撑软件、应用软件和管理软件等。

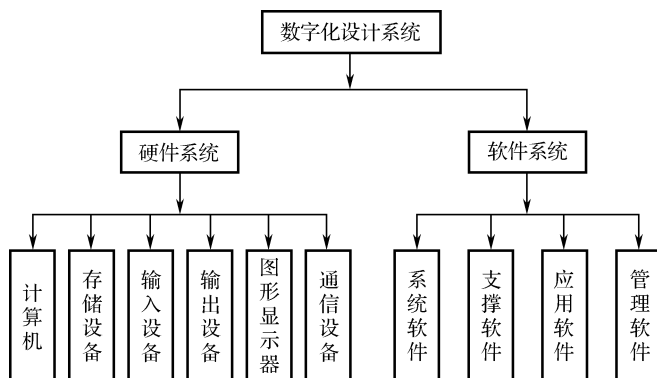


图 1-2 数字化设计系统

1.5.1 数字化设计系统的硬件

数字化设计系统的硬件应具有较强的人机交互设备及图形输入输出装置，以便为产品设计提供良好的硬件环境。典型的数字化设计系统硬件组成如图 1-3 所示。

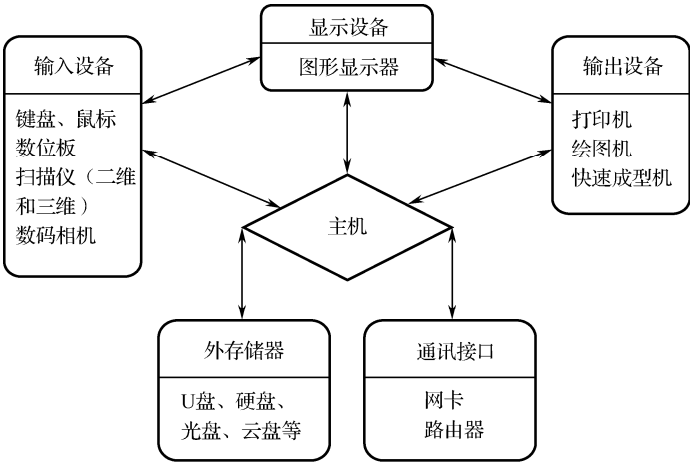


图 1-3 数字化设计系统的硬件

1.5.2 数字化设计系统的软件

具备了硬件系统后，软件的配置水平决定了数字化设计系统性能的优劣。数字化设计系统软件分为四个部分：系统软件、支撑软件、应用软件和管理软件，如图 1-4 所示。

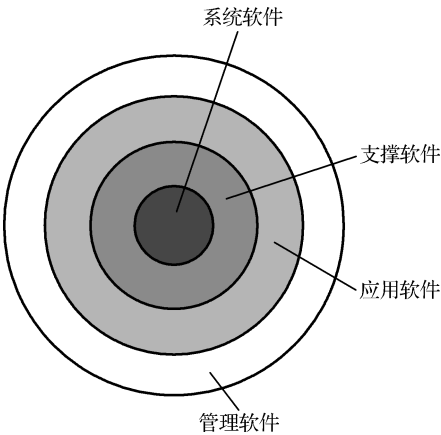


图 1-4 数字化设计系统的软件

1.5.3 典型的数字化设计软件平台介绍

表 1-1 典型的数字化设计软件

软件名称	概念设计	详细设计
CATIA	知识工程专家、产品功能定义、产品功能优化、零件设计、装配设计、真实感显示、变量和参数化混合建模、几何和智能工程混合建模、曲面设计、有限元分析、全相关技术、人机分析、并行设计	2D/3D 转换、2D 绘图、装配图、BOM 生成、数字样机
UG NX	零件设计、装配设计、真实感显示、变量和参数化混合建模、曲面设计、有限元分析、全相关技术、人机分析、并行设计	2D/3D 转换、2D 绘图、装配图、BOM 生成、数字样机

续表

软件名称	概念设计	详细设计
I-Deas	零件设计、装配设计、变量和参数化混合建模、曲面设计、结构分析、热力分析、优化设计、耐久性分析、并行设计	2D/3D 转换、2D 绘图、装配图、数字样机
Pro/E	零件设计、装配设计、特征建模、曲面设计、有限元分析、公差分析、并行设计	2D/3D 转换、2D 绘图、装配图、数字样机
Alias	曲面设计、曲面评估	无
AutoCAD	2D 绘图、3D 造型	零件图、装配图

1.6 数字化辅助概念设计

1.6.1 数字化辅助概念

数字化辅助概念设计的过程，也就是方案构思、表现、评价、修改完善的过程，需要综合运用数字化设计技术进行创造性的活动，要灵活运用数字化的智能推理、特征建模、仿真分析、虚拟装配、数字样机、虚拟环境、虚拟实验、快速成型等设计技术，以保证概念设计过程的高效进行，如图 1-5 所示。

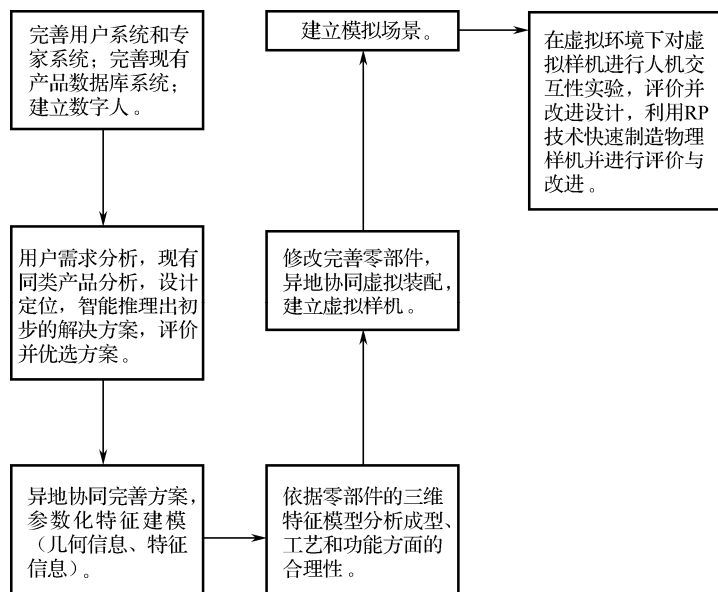


图 1-5 数字化辅助概念设计的过程

要求数字化设计的软件平台必须有一个开放的数据库系统，以便设计师及时更新系统内容，满足设计需求。这个数据库的体系应当包括用户系统、专家系统、现有产品数据库系统、数字人系统。这样的数据库应当是分类专用的体系，比如说可以分为：冰箱系统、电脑系统、汽车系统等门类，这些系统的内容可以根据用户需求的变化、新技术与新材料的出现而

改变,经过更新后的数据库可以智能化地为设计师提供经过分析的用户需求,确定产品功能,提供可能的技术解决方案,分析现有产品的缺点,提供基本的尺寸和布局等内容。

在这方面,目前的数字化设计技术还没有比较成熟的体系。数字化辅助概念设计的关键技术是知识的组织、表达和搜索。

1.6.2 智能推理

目前的数字化设计技术在智能推理方面还很不成熟,方案的构思与评价仍然主要由专家来完成,已有的推理技术主要是基于相似性推理方法来完成简单的智能化推理,从而提供解决方案。比如基于实例的推理技术、基于规则的推理技术等均是基于相似性推理的理论而设计的。

1.6.3 参数化特征建模

基于特征的参数化建模技术是 CAD 的核心技术,也是 CAD/CAE/CAM 的基础,基于特征的参数化建模便于改进模型、仿真分析、装配、制图、数控编程等。实体特征化模型包含几何信息、拓扑信息、特征信息(材料、物理与化学特性等),这为后边的仿真分析、虚拟装配、虚拟实验等提供基础。

为了方便建模可以采用反求工程获取实物模型的数据信息,由测量数据生成的模型经过修改后可以直接作为设计模型,从而提高建模的效率。

UG NX 11.0 基于特征的参数化建模技术功能强大,是最有价值且便利的建模技术,包括草图绘制、曲线绘制、实体建模、曲面建模、曲线曲面分析、同步建模、钣金件建模等技术。

1.6.4 虚拟装配

狭义的虚拟装配:零件的数字化模型建成后,借助特定的软件平台,以主体零件为参考定义零部件之间的配合(约束)关系,建立完整的产品数字化模型。

广义的虚拟装配:虚拟装配是虚拟制造的关键技术之一,通过计算机对产品零部件进行虚拟分析和虚拟设计,对装配过程进行仿真模拟,检查产品零部件之间的正确装配关系,包括可达性、顺序性、方向性、干涉情况以及公差配合等方面的内容,帮助设计人员及早发现产品装配设计中的缺陷。虚拟装配是实际装配过程在计算机上的本质体现,是虚拟现实技术与装配技术相结合的产物。

1.6.5 仿真分析

仿真(Simulation)是通过对系统模型的试验,研究已存在的或设计中的系统性能。仿真可以再现系统的状态、动态行为及性能特征,用于分析系统配置是否合理、性能是否满足要求,预测系统可能存在的缺陷,为系统设计提供决策支持和科学依据,侧重于配合、受力、碰撞、运转等方面的局部分析。

数字化仿真分析的基本方法是有限元法。

按照仿真技术应用的对象不同,可将制造业应用的仿真分为四类:面向产品的仿真、面向制造工艺和装备的仿真、面向生产管理的仿真及面向企业其他环节的仿真。虚拟仿真技术

不仅给产品开发提供了结构强度、轻量化设计、运动学校核、疲劳寿命和碰撞安全等全生命周期的有效保障，同时也大大降低了传统产品开发的试验费用和时间，节省了企业产品开发的成本。

1.6.6 数字样机

数字样机（digital Prototype）是相对传统的物理样机而言的，它的基本含义是以产品的数字化模型为基础，对产品的数字化模型经过仿真、分析和改进后建立的比较成熟的数字化模型。

数字样机的建立可以大大提高设计效率。

1.6.7 虚拟实验

从整体入手，在虚拟环境下对数字样机在运转和操作性能方面进行测试、分析和评估，并根据分析结果改进设计方案，从而达到以数字样机代替传统实物样机的目的。

它是数字化仿真技术的深化和升华，是虚拟现实技术在产品开发中的应用。

1.6.8 快速原型制造

物理模型或物理样机可触、可感，给人的感受最真实，对它的评价也最准确。即使产品的数字样机已经可以满足感知和测试的要求，有些时候依然需要物理模型或物理样机，以便使人们对设计方案的感受和评价更真实准确。依靠快速原型制造技术可以快速制造物理模型或物理样机。

快速原型制造技术是由产品的数字化模型直接驱动成型设备，以快速制造任意复杂形状三维物理实体的技术的总称。

它的基本步骤如图 1-6 所示：

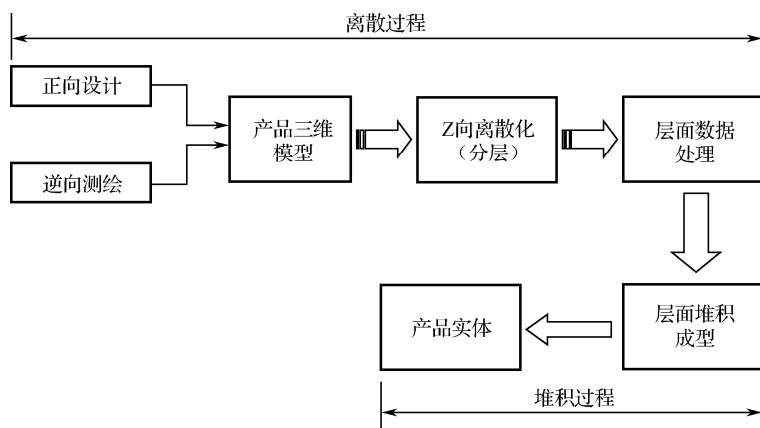


图 1-6 快速原型制造流程

- （1）通过正向设计或逆向测绘，在计算机中建立产品的三维数字化模型；
- （2）根据具体要求，将模型离散为一系列有序的单元。通常，在 Z 方向将按一定厚度进行离散分层，将原来的三维模型变成一系列的二维层片；

(3) 根据每个层片的轮廓信息, 输入加工参数, 自动生成数控代码;

(4) 选择合适的材料及成型工艺, 利用快速成型机, 将材料按照指定的路径逐层堆积并连接起来, 得到产品的三维物理实体。

最典型的快速成型机种类有:

(1) 立体平板印刷法 (液态光敏树脂固化 SLA);

(2) 激光烧结法 (粉末材料烧结 SLS);

(3) 熔融沉积法 (丝状材料熔覆 FDM);

(4) 板料层压法 (薄形材料切割 LOM)。

1.7 数字化辅助详细设计

修改并完善产品的数字化模型, 建立数字样机, 生成零件图和装配图, 执行虚拟制造与虚拟装配, 随之生成工艺图和工艺数据库, 最后把这些数据资料传递给工程师和 CIMS 系统, 过程如图 1-7 所示。

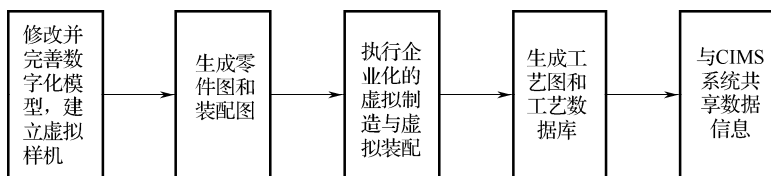


图 1-7 数字化辅助详细设计的过程

1.8 基于 UG NX 11.0 的数字化设计及建模方法

产品由多个零部件构成, 宏观的产品设计及建模方法有三种, 分别是自低向上、自顶向下和混合型 (混合使用自低向上和自顶向下), 在给产品设计及建模时采用混合型设计及建模方法的居多。UG NX 11.0 完全支持以上三种设计及建模方法。

自低向上设计及建模方法是指先为每个零件设计及建模, 再通过给定相配零件的配对约束关系, 得到装配体的设计及建模过程, 零部件间不具有相关性。自顶向下设计及建模方法是指在装配环境中创建相关零部件, 从装配顶级向下产生子装配和零件的设计及建模过程, 零部件间具有相关性。在实际应用中, 常常混合使用自低向上和自顶向下的设计及建模方法。

与自低向上设计及建模方法对应的 NX 11.0 设计及建模技术有零部件设计、建模和装配/添加部件。零部件即实体, 实体由面生成, 面由线生成, 线由点生成, 因此点和线是建模的基础。NX 11.0 中生成点的途径有三种, 分别是基准点、草图点和曲线点, 通过以上三种途径生成的点本质上是一样的。NX 11.0 中生成线的途径有两种, 分别是草图环境和曲线环境, 草图环境和曲线环境功能有相似之处, 但也有不同之处, 草图环境的参数化 (尺寸约束和几何约束) 强, 曲线环境参数化弱, 曲线环境可以借用和生成三维曲线, 草图环境则不能。NX

11.0 中生成面的途径有四种，分别是曲面环境、拉伸特征、旋转特征和创意塑型。NX 11.0 中生成体的途径有五种，分别是拉伸特征、旋转特征、扫掠、创意塑型、缝合封闭面和加厚。在 NX 11.0 中自低向上设计及建模时有两种方法，第一种是先为零部件设计及建模，而后利用装配模版新建装配体，在装配体中添加部件（装配/添加组件）；第二种是先为零部件设计及建模，而后为其中一个零部件新建父对象（装配/新建父对象），随后把新建的父对象（装配体）设为工作部件，在装配体中添加其他部件（装配/添加组件）。

与自顶向下设计及建模方法对应的 NX 11.0 设计及建模技术有关联控制（Context Control）、WAVE 几何链接器和部件间表达式（Interpart Expressions），在以上三种设计及建模技术中最常用和易用的是 WAVE 几何链接器。在 NX 11.0 中自顶向下设计及建模时有多种方法，例如利用装配模版新建装配体，在装配体中新建部件（装配/新建部件），把新建部件设为工作部件，在工作部件中画产品轮廓图；把装配体设为工作部件，再次为装配体新建部件，把刚刚新建的部件设为工作部件，利用 WAVE 几何链接器从其他部件中拾取需要的轮廓线，以拾取的轮廓线为基础进行构面和构体。

在 NX 11.0 中混合使用自低向上和自顶向下的设计及建模方法有多种，例如先为零部件建模，而后为其中一个零部件新建父对象（装配/新建父对象），随后把新建的父对象（装配体）设为工作部件，在装配体中添加其他部件（装配/添加组件），再把父对象（装配体）设为工作部件，在装配体中新建其他部件（装配/新建组件），随后把新建部件设为工作部件，利用 WAVE 几何链接器拾取其他部件中的点、线或面，以拾取的特征为基础进行构面和构体。

在对产品进行设计与建模时，要考虑各个零部件之间及其关键尺寸的相互关系。在控制零部件的三维尺寸基础上，同时采用全相关技术控制不同零部件之间及其与总成之间的关系，能在改变单个零部件几何尺寸和空间位置的同时，自动控制其他相关零部件和总成的形状、空间位置及配合关系。产品的关键形状是完全参数化的，很多参数又是相关的，其中任何一个参数的变化都能自动更新其他相关参数的变化。